

399

Hanna Halmeenpää, Paula Paananen, Kaisa Junttila ja Tero Väisänen

Saunajärven ja Siikalammen kunnostaminen

-REHKU hankkeen kunnostustutkimusten yhteenveto

Oulu 2005

Valokuvat:
Taustakuva: Korteikko Siikalammilla, Tero Väisänen
Vasen yläkuva: Kasvillisuuskartoitusta Siikalammilla, Riitta Ilvonen
Oikea alakuva: Saunajärven tehokalastussaalista, Kaisa Junttila

ISBN 952-11-2057-6
ISSN 1238-8610

Piirroskuvit tms.

Painotupa Ky
Oulu 2005

Alkusanat

Rehevän järven kunnostusmenetelmän valinta on keskeinen tekijä onnistuneessa kunnostushankkeessa. Järven tila ja siihen vaikuttavat tekijät on tunnettava riittävän tarkasti, jotta usein niukat kunnostusvarat voidaan kohdistaa oikeaan asiaan. On siis tiedettävä yritetäänkö parantaa järvessä esiintyvää oiretta vai hoidetaanko järven tilan perussyitä kuntoon.

Ympäristöministeriön rahoittama Rehevien järvien kunnostusmenetelmän valinta (REHKU) -hankkeen koekohteina olivat Taivalkosken Siikalampi ja Pudasjärven Saunajärvi. Taivalkosken kunnan ja kalastuskunnan panostus Siikalammen kunnostustutkimuksiin ja -toimiin on ollut merkittävää. Samoin Venkaan kalastuskunnan ja Siuruanjoki kuntoon – yhteishankkeen panostus Saunajärven kunnostamiseen on ollut merkittävää.

Kunnostustutkimuksista on tehty seuraavat opinnäytetyöt, joihin tämä julkaisu pääosin perustuu:

Paananen, Paula. 2001: Siuruanjoki kuntoon – Euroopan aluekehitysrahastojen ja maakuntien yhteishanke. CASE STUDY: Saunajärven kunnostaminen. Diplomityö. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Oulun yliopisto.

Kuusela, Hanna. 2002: Taivalkosken Siikalammen vesistötutkimus – järven tila kunnostussuunnittelun lähtökohtana. Pro gradu-tutkielma. Maantieteen laitos, Oulun yliopisto.

Lämmin kiitos kaikille REHKU- hankkeeseen osallistuneille sekä koekohteilla töitä tehneille henkilöille. FT Timo Yrjänälle kiitokset rakentavista kommentista työn loppuvaiheessa.

Oulu, 15.8.2005

Hanna Halmeenpää

Paula Paananen

Kaisa Vähänen

Tero Väisänen

Sisällys

| | |
|--|-----------|
| I Johdanto | 7 |
| 2 Saunajärven kunnostustutkimukset | 8 |
| 2.1 Johdanto | 8 |
| 2.2 Saunajärven valuma-alue ja hydrologia | 8 |
| 2.3 Saunajärven kuormitus | 11 |
| 2.3.1 Ulkoinen kuormitus ja luonnonhuuhtouma | 11 |
| 2.3.2 Järven sietokyky ja sisäisen kuormituksen arviointi | 12 |
| 2.4 Saunajärven veden laatu | 13 |
| 2.4.1 Lämpötilakerrostuneisuus ja happipitoisuus | 14 |
| 2.4.2 Veden väri, näkösyvyys, pH-arvot ja alkaliniteetti | 14 |
| 2.4.3 Ravinnetaso | 15 |
| 2.4.4 Rehevyysluokitus ja minimiravinne | 15 |
| 2.4.5 Yleistila ja leväesiintymät | 16 |
| 2.5 Saunajärven sedimentin tila | 16 |
| 2.5.1 Sedimentin ravinnepitoisuudet ja redox-potentiaali | 17 |
| 2.5.2 Sedimentin kaasuntuotto | 19 |
| 2.5.3 Sedimentin ajoitus | 20 |
| 2.6 Kalastus ja hoitotoimenpiteet saunajärvellä | 20 |
| 2.7 Saunajärven kunnostustavoitteet ja suositukset | 21 |
| 2.7.1 Ulkoisen kuormituksen vähentäminen | 21 |
| 2.7.2 Sisäisen kuormituksen vähentäminen | 23 |
| 2.7.3 Saunajärven avainryhmät ja ympäristötietoisuus | 24 |
| 2.8 Saunajärvi kunnostussuunnittelun jälkeen | 25 |
| 2.8.1 Ulkoisen kuormituksen vähentäminen | 25 |
| 2.8.2 Tehokalastus | 26 |
| 2.8.3 Ympäristötietoisuuden lisäämistä ja omaehtoista järven tilan seurantaa | 27 |
| 2.8.4 Veden laatu kunnostustoimien jälkeen | 27 |
| 3 Siikalammen kunnostustutkimukset | 30 |
| 3.1 Johdanto | 30 |
| 3.2 Siikalammen valuma-alue ja hydrologia | 30 |
| 3.3 Siikalammen nykyinen kuormitus | 33 |
| 3.3.1 Ulkoinen kuormitus ja luonnonhuuhtouma | 33 |
| 3.3.2 Fosforitaseen ja sisäisen kuormituksen arviointi | 34 |
| 3.4 Siikalammen veden laatu | 35 |
| 3.4.1 Lämpötilakerrostuneisuus ja happipitoisuus | 36 |
| 3.4.2 Veden väri, CODMn -arvo, näkösyvyys ja sameus | 36 |
| 3.4.3 Veden pH, alkaliniteetti ja sähkönjohtavuus | 37 |
| 3.4.4 Ravinnetaso ja a-klorofylli | 37 |
| 3.4.5 Yleistila ja leväesiintymät | 38 |
| 3.5 Siikalammen kasvillisuus | 38 |
| 3.5.1 Vesirutto | 39 |
| 3.6 Siikalammen sedimentin tila | 41 |
| 3.6.1 Sedimentin ravinnepitoisuudet ja redox-potentiaali | 41 |
| 3.6.2 Sedimentin kaasuntuotto | 43 |
| 3.6.3 Sedimentin ajoitus | 44 |
| 3.7 Piilevät Siikalammen veden laadun ilmentäjinä | 44 |
| 3.8 Siikalammen kalastus ja kalaston tila | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 3.9 Siikalammen kunnostustavoitteet ja suositukset | 47 |
| 3.9.1 Ulkoisen kuormituksen vähentäminen | 49 |
| 3.9.2 Sisäisen kuormituksen vähentäminen | 49 |
| 3.9.3 Kuormituksen vähentämistä tukevat kunnostusmenetelmät..... | 50 |
| 3.10 Siikalammen tila ja tulevaisuus | 51 |
| Kirjallisuus | 54 |
| Liitteet | 59 |
| Kuvailulehdet | 75 |

Johdanto



Rehevien järvien kunnostusmenetelmän valinta (REHKU) -hankkeen koekohteet Taivalkosken Siikalampi ja Pudasjärven Saunajärvi ovat tyypillisiä esimerkkejä Pohjois-Pohjanmaan rehevöityneistä järvistä. Järvien kunnostussuunnittelu, sitä edeltäneet tutkimukset sekä lyhyt seurantajakso kunnostustoimenpiteiden jälkeen on koottu yhteen tässä julkaisussa. Alustavat tulokset kunnostustoimista ovat olleet rohkaisevia; järvien tila on kohentunut ja käyttökelpoisuus parantunut.

REHKU -hankkeen tavoitteena on kehittää toimintamalli, jolla rehevöityneen järven kunnostusmenetelmä voidaan valita. Menetelmän valinnassa reunaehtoina ovat järven luontoarvot sekä ekologinen tila. Kunnostusmenetelmien tekniset taloudelliset perusteet sekä järven tila rajaavat edelleen sopivien kunnostusmenetelmien joukkoa. Viimeinen, muttei vähäisin valintaperuste on alueen asukkaiden ja muiden järven käyttäjien arvio sopivasta kunnostusmenetelmästä kotijärvelle. REHKU -hankkeessa on haettu keinoja lisätä alueen asukkaiden osallistumista kunnostushankkeeseen jo kunnostussuunnittelun alkuvaiheessa. Alueen asukkaiden on usein vaikeaa hyväksyä ajatusta, ettei järveä saada hyvään virkistyskäyttökuntoon nopeasti ja edullisesti. Keskustelua järven kunnostamisesta on pyritty lisäämään esittelemällä asiantuntija-arvio kunkin kunnostusmenetelmän soveltuvuudesta järvelle. Yleisesti ottaen parhaan ratkaisun järven ongelmiin tuo eri kunnostusmenetelmien yhdistäminen tai kunnostuksen toteuttaminen useammassa vaiheessa muutaman vuoden kuluessa. Järven kunnostaminen on siis pitkäjänteistä työtä ja sitä on tehtävä niin valuma-alueella kuin itse järvessäkin.

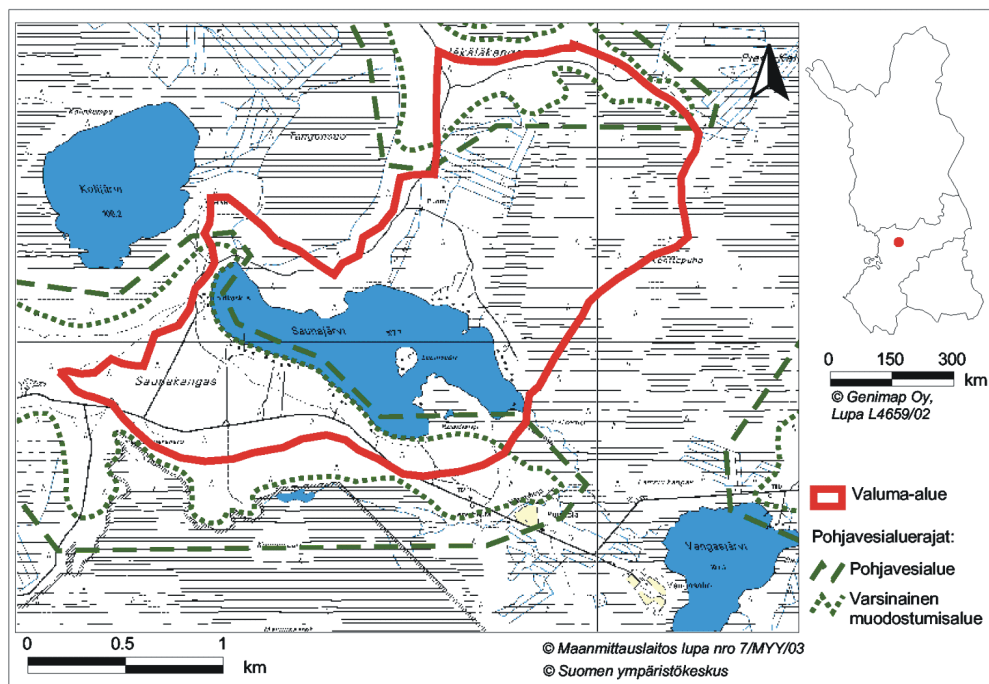
2.1 Johdanto

Saunajärvi on rehevöitynyt järvi, jossa sinileväsamennuksia havaittiin 1990-luvulla lähes joka vuosi. Särkikalajien osuus Saunajärven kalastosta oli ennen kunnostustoimia runsas ja paikallinen kalastuskunta onkin talkoovoimin pyrkinyt pienentämään särkipopulaatiota koko 1990-luvun ajan. Syksyllä 1993 järvellä suoritettiin tehokalastuksia nuottaamalla, saalistavoite jäi tuolloin kuitenkin saavuttamatta (Hintikka & Karjalainen 1993). Kesällä 2000 Saunajärven loma-asukkaiden mielipiteitä Saunajärven tilasta, tarvittavista kunnostamistoimista sekä lomamökien ja järven rannalla sijaitsevan leirikeskuksen jätevesien käsittelyn tasosta selvitettiin kiinteistökohtaisen haastattelun (liite 1) avulla. Kyselyyn vastanneista lomasukkaista 93 % kannatti järven kunnostamista. Järven tilan heikkeneminen on haitannut merkittävästi järven virkistyskäyttöä.

Saunajärven kunnostussuunnittelu aloitettiin syksyllä 2000, tavoitteena järven virkistyskäyttöarvon parantaminen. Tämä vaatii veden laadun parantamista ja ravintoketjun kunnostamista. Konkreettisenä tavoitteena on vähentää haitallisten leväkukintojen määrää. Saunajärven kunnostaminen toteutetaan osana Siuruanjoki kuntoon –yhteishanketta vuosina 2000-2006. Yhteishanketta rahoittaa kuntien, valtion ja yksityisten tahojen lisäksi Euroopan aluekehitysrahasto. Kohtuullisin kustannuksin toteutettavilla toimenpiteillä pyritään pysyväisluonteisiin parannuksiin järven tilassa. Kunnostussuunnitelman (Paananen 2001) lisäksi Saunajärvelle on laadittu seurantaohjelma (Kuusela 2002B) kunnostuksen tuloksellisuuden ja tarvittavien jatkohoitotoimenpiteiden arvioimiseksi. Seuraavassa esitetään tiivistetysti Saunajärvellä tehtyjä järven tilan tutkimuksia tuloksineen sekä järven tilan perusteella valittuja kunnostusvaihtoehtoja viitteellisine kustannusarvioineen. Lukuun ottamatta sedimentin tilaa koskevia tutkimuksia tarkemmin aineistoa on käsitellyt Paananen (2001).

2.2 Saunajärven valuma-alue ja hydrologia

Saunajärvi sijaitsee Pudasjärven kunnassa ja kuuluu Vengasojan valuma-alueeseen (kuva 1). Järven pinta-ala on 0,78 km² ja valuma-alueen pinta-ala 4,3 km². Kevään ja syksyn ylivirtaamakausina järveen valuu vesiä myös Kolijärven valuma-alueelta noin 20 ha alalta. Järvi on allasmainen eikä pohjassa ole jyrkkäpiirteisiä syvänteitä. Syvyystiedot perustuvat Venkaan kalastuskunnan ja Saunajärven loma-asukkaiden kesällä 2000 suorittaman syvyyskartoituksen tuloksiin (liite 2). Hydrologisia tietoja Saunajärvestä on esitetty taulukossa 1.



Kuva 1. Saunajärven valuma-alue ja pohjavesialueet järven läheisyydessä.

Taulukko 1. Saunajärven hydrologisia suureita.

| Suure | Saunajärvi |
|--|--------------------------------------|
| Valuma-alueen pinta-ala | 4,3 km ² |
| Järvisyysprosentti | 18,0 % |
| Järven pinta-ala | 0,78 km ² |
| Keskisyvyys | 2,0 m |
| Suurin syvyys | n. 4,0 m |
| Tilavuus | 1,55 milj. m ³ |
| Keskivirtaama MQ | 0,041 m ³ s ⁻¹ |
| Keskiylivirtaama MHQ | 0,842 m ³ s ⁻¹ |
| Keskialivirtaama MNQ | 0,002 m ³ s ⁻¹ |
| Sadannan kautta Saunajärveen tuleva vesimäärä P ₁ * | 0,016 m ³ s ⁻¹ |
| Veden keskimääräinen viipymä järvestä | 269 d |
| Kolijärven ja Patosuon valuma-alueilta tuleva ylivaluma-ajan (60 d) virtaama MHQ _{Kolijärvi, Patosuo} | 0,060 m ³ s ⁻¹ |

*Kipinän aluesadannan 1981-1990 mukaan.

Aikaisemmin järven rannat ovat olleet kauttaaltaan hiekkaisia, mutta neljän metsäojan kautta järveen on kulkeutunut huomattava määrä turvepitoista hienoa-ainesta ympäröivältä valuma-alueelta. Järven luoteiskulmaan vetensä laskevat Kolijärven ojat. Pohjoisrannalla Saunajärveen virtaa Nuottarannanoja ja koillisrannalla Tikkasenlahdenoja. Järven itäpäästä lähtevä Saunaoja laskee hyvin loivasti (pituuskaltevuus n. 0,5 ‰) kohti Vengasjärveä, josta vedet virtaavat edelleen Mertajokeen ja Siuruanjokeen. Saunaojan virtaussuunta vaihtelee veden korkeuden mukaan. Saunajärven pohjassa erityisesti länsipäädyssä on lähteitä, joista järveen purkautuu pohjavesiä. Järven eteläpuolella sijaitsee Saunakankaan pohjavesialue, pohjoispuolella maasto on soista. Valtaosa Saunajärven valuma-alueesta on mäntymetsää, rämettä ja vähäpuustoista turvemaata (taulukko 2). Maankäyttöjakauma on laskettu Suomen ympäristökeskuksen maankäyttö- ja puustotulkinnan (SLAM3) mukaan.

Ensimmäiset kesäasunnot Saunajärven rannalle on rakennettu 1960-luvun lopulla. Nykyään Saunajärvellä on 28 lomamökkiä. Saunajärven rannassa sijaitsee lisäksi Metsähallituksen omistama leirikeskus, jota on käytetty 1960-luvulta saakka Metsähallituksen työntekijöiden tukikohtana. Nykyisin leirikeskusta käyttää Pohjois-Pohjanmaan partiopiiri. Suurimmalla osalla loma-asutuksesta on oma kaivo, vesijohtoa tai viemärintiä ei ole koko alueella. Valtaosa mökeistä, saunarakennuksista ja ulkokäymälöistä sijaitsee alle 50 m päässä järvestä. Jätevesienkäsittelymenetelmänä osalla rakennuksista on sakokaivo ja/tai maaperäkäsittely, osalla jätevesiä ei käsitellä lainkaan. Leirikeskuksen jätevedet johdetaan sakokaivon kautta imeytyskaivoon tai kivipesään. Järven rannalla sijaitsevat kuivakäymälät ovat maapohjaisia, umpipohjaisia tai varustettu pohjasta rei'itetyllä astialla. Käymäläjätteet tyhjennetään valtaosin maahan kaivettuihin monttuihin. Saunan pesuvesien käsittely on vähäistä.

Järven pohjoispuolella on tehty 1970-luvulla metsäojituksia, joista vedet on johdettu ilman suojavyöhykkeitä vesistöön. Loma-asukkaat ovat tämän jälkeen omatoimisesti tukkineet joidenkin ojien suita ja tehneet ojiin pieniä patoja. Metsätalous on edelleenkin valuma-alueen vallitsevin maankäyttömuoto. Taulukossa 3 on Metsähallituksen ja Pudasjärven metsänhoitoyhdistyksen antamat tiedot metsätalouden toimenpideoista vuosina 1990-2001. Turvetuotantoa tai maataloutta valuma-alueella ei harjoiteta.

Taulukko 2. Saunajärven valuma-alueen maankäyttöluokitus Suomen ympäristökeskuksen maankäyttökisterin mukaan.

| Maankäyttötyyppi | Pinta-ala (ha) | Osuus valuma-alueesta (%) |
|----------------------------------|----------------|---------------------------|
| Järvet ja joet | 89,7* | 20,8 |
| Pelto | 0 | 0 |
| Vähäpuustoinen alue kangasmaalla | 19,0 | 4,4 |
| Vähäpuustoinen alue turvemaalla | 49,9 | 11,6 |
| Havukorpi | 2,0 | 0,5 |
| Lehtikorpi | 10,1 | 2,3 |
| Räme | 70,2 | 16,3 |
| Mäntymetsä | 163,4 | 37,9 |
| Kuusimetsä | 2,1 | 0,5 |
| Lehtimetsä | 0,4 | 0,1 |
| Sekametsä | 22,8 | 5,3 |
| Taajamat/talot | 1,3 | 0,3 |

*Osa vetisestä suosta on käytetyn maankäyttöluokituksen mukaan vesialuetta. Ilmalaskeumaa, luonnonhuuhtoumaa ja järvisyyssprosenttia laskettaessa tässä raportissa on käytetty Saunajärven vesipinta-alaa 77,7 ha.

Taulukko 3. Metsätalouden toimenpidealat Saunajärven valuma-alueella vuosina 1990-2001.

| Metsätaloustoimenpide | Metsähallitus | Yksityisten metsät | Yht. |
|-----------------------|------------------------|-------------------------------------|---------|
| Ojitus | | | |
| Uudisojitus | 35 ha (v. 1990) | ei ojituksia | 35 ha |
| Muokkaus | | | |
| Äestys | 5,4 ha (v. 1995) | ei muokkauksia v. 1995 jälkeen | 5,4 ha |
| Hakkuu | | | |
| Harvennus | 13,3 ha (v. 1993-1997) | 8,8 ha (v.-95), 14,4 ha (v. -98-00) | 36,5 ha |
| Avohakkuu | 2,0 ha (v. 1995) | 6,2 ha (v. 1995-1998) | 8,2 ha |
| Lannoitus | ei lannoituksia | ei lannoituksia | 0 ha |
| Lähitulevaisuudessa | kasvatushakkuita | muokkauksia kesällä 2001 | |

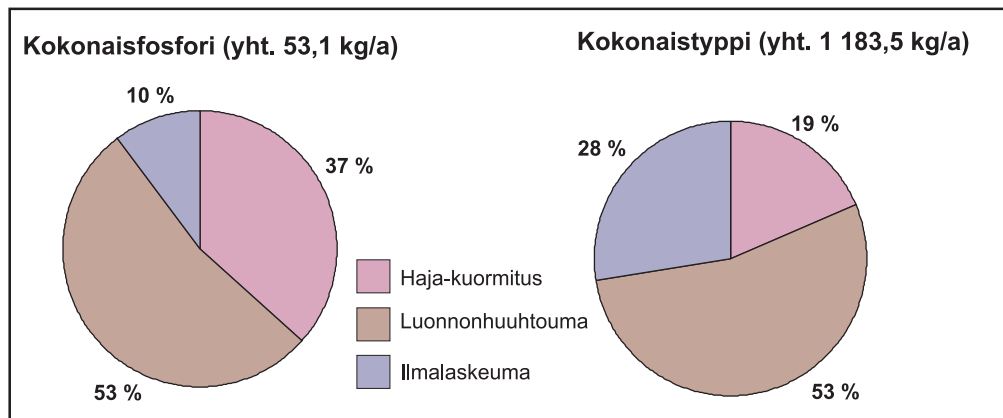
2.3 Saunajärven kuormitus

2.3.1 Ulkoinen kuormitus ja luonnonhuuhtouma

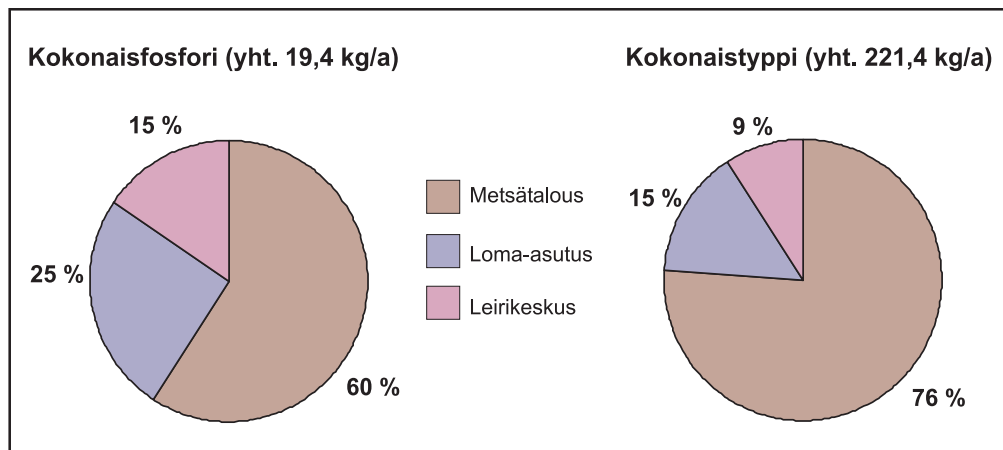
Saunajärven ihmistoiminnasta aiheutuva kuormitus on luonteeltaan hajakuormitusta, sillä järven rannalla ei ole pistemäisiä kuormituslähteitä. Hajakuormituksen lisäksi ravinnekuormitusta aiheuttaa ilmalaskeuma. Luontaisesti järveen tulee ravinteita luonnonhuuhtouman mukana. Luonnonhuuhtouman vuosiarvot Saunajärvellä on arvioitu Valtimon kunnassa sijaitsevan Liuhapuron valuma-alueen (1,65 km², josta 48 % suota) ja koko Siuruanjoen valuma-alueen (2400 km², josta > 60 % suota) huuhtouma-arvojen perusteella valuma-alueiden sijaintiin ja suovaltaisuuksiin perustuen (Ahtiainen & Huttunen 1995; Halonen & Heikkinen 1997). Laskeuma-arvoina Saunajärvellä käytettiin Suomen vuosikeskiarvoja vuosina 1990-1995 (Järvinen & Vänni 1992a, 1992b, 1994a, 1994b, 1996, 1997, Halosen & Heikkisen 1997 mukaan). Saunajärven laskennalliset luonnonhuuhtouma- ja laskeuma-arvot ja luonnonhuuhtouman arviointiin käytetyt tiedot ovat liitteessä 3.

Loma-asutuksen aiheuttamalle vesistökuormitukselle on eri lähteissä arvioitu mökki- ja asukaskohtaisia kuormituskertoimia, jotka sisältävät vaihtelevasti loma-asuntojen valtakunnallisen keskietäisyyden vesistöstä tai arvion mökin keskimääräisestä käyttöasteesta (Hiltunen 1997; Lakso & Viitasaari 1990; Rontu & Santala 1995; Vainio 2000). Ulkoisen kuormituksen arvioinnissa käytetyt tiedot Saunajärven loma-asutuksesta, leirikeskuksesta ja jätevesien käsittelyn tasosta saatiin kesän 2000 kiinteistökohtaisista haastatteluista (liite 1). Loma-asutuksen ja leirikeskuksen aiheuttaman hajakuormituksen laskentaan käytetyt kuormituskertoimet ja laskelmien tulokset ovat liitteessä 4, samoin kuin metsätalouden kuormituskertoimet ja kuormitusvaikutus.

Laskennalliseksi hajakuormitukseksi Saunajärvellä arvioitiin yhteensä 19,4 kg a⁻¹ kokonaisfosforia, 221,4 kg a⁻¹ kokonaistyppeä ja 4 242,4 kg a⁻¹ kiintoainetta. Hajakuormituksesta valtaosa aiheutuu metsätaloudesta. Järveen valuma-alueelta huuhtoutuvasta kokonaisravinnemäärästä hajakuormitus aiheuttaa noin 55 % fosforin osalta ja 53 % typen osalta. Loput ravinteet ovat peräisin valuma-alueen luonnonhuuhtoumasta ja ilmalaskeumasta (kuvat 2 ja 3). On huomattava, että näissä laskelmissa ei ole mukana sisäisen kuormituksen osuutta. Kuitenkin Saunajärven rehevyyden perusteella voidaan sisäisen kuormituksen olettaa, ainakin ajoittain olevan merkittävä järven kuormittaja.



Kuva 2. Saunajärven valuma-alueelta huuhtoutuvien ravinteiden alkuperä.



Kuva 3. Saunajärven hajakuormituksen jakauma fosforin ja typen osalta.

2.3.2 Järven sietokyky ja sisäisen kuormituksen arviointi

Saunajärven vedenlaatuhavaintojen keskiarvopitoisuudet olivat $46 \mu\text{g l}^{-1}$ kokonaisfosforia ja $1027 \mu\text{g l}^{-1}$ kokonaistyppeä. Laskettaessa sekunnissa järveen huuhtoutuvat ravinnemäärät ($1684 \mu\text{g P s}^{-1}$ ja $37\,529 \mu\text{g N s}^{-1}$) suhteessa järven keskivirtaamaan ($MQ = 41 \text{ l s}^{-1}$), saatiin veden laskennalliseksi kokonaisfosforipitoisuudeksi $41 \mu\text{g l}^{-1}$ ja vastaavasti kokonaistypipitoisuudeksi $915 \mu\text{g l}^{-1}$. Molemmat arvot ovat noin 90 % mitatuista kesäajan keskimääräisistä ravinnepitoisuuksista. Koska sisäisen kuormituksen osuutta ravinnevirroista ei tiedetä, laskelmassa on mukana vain valuma-alueelta huuhtoutuvat ravinteet.

Saunajärvelle laskettiin Vollenweiderin malliin perustuen mukaan ulkoisen kuormituksen alempi ja ylempi sietoraja (Lappalainen 1990A). Fosforinsietorajoina käytettiin kirjallisuudessa esitettyjä 15 mg P m^{-3} alempana sietorajana (C_{s1}) ja 80 mg P m^{-3} ylempänä sietorajana (C_{s2}). Ulkoisen kuormituksen alempi sietoraja saatiin yhtälöstä:

$$UK_1 = 0,0864 \cdot Q \cdot (1 + T^{0,5}) \cdot C_{s1} \quad (1),$$

missä

UK_1 alempi ulkoisen fosforikuormituksen sieto (kg P d^{-1})
 Q järven keskivirtaama ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
 T järven keskiviipymä (a)

Ylempi sietoraja (UK_2) saatiin sijoittamalla yhtälöön C_{s2} . Alemmaksi sietorajaksi saatiin näin laskettuna $0,10 \text{ kg P d}^{-1}$ ja ylemmäksi sietorajaksi $0,53 \text{ kg P d}^{-1}$. Ulkoisesta fosforihuuhtoumasta järveen päätyy noin $0,15 \text{ kg P d}^{-1}$. Edelleen Lapalaisen (1990a) yksinkertaistamaa Vollenweiderin laskukaavaa käyttäen voitiin laskea fosforikuormituksen perusteella ennustettava järveden fosforipitoisuus:

$$C_{pv} = \frac{C_{pk}}{(1 + T^{0.5})} \quad (2)$$

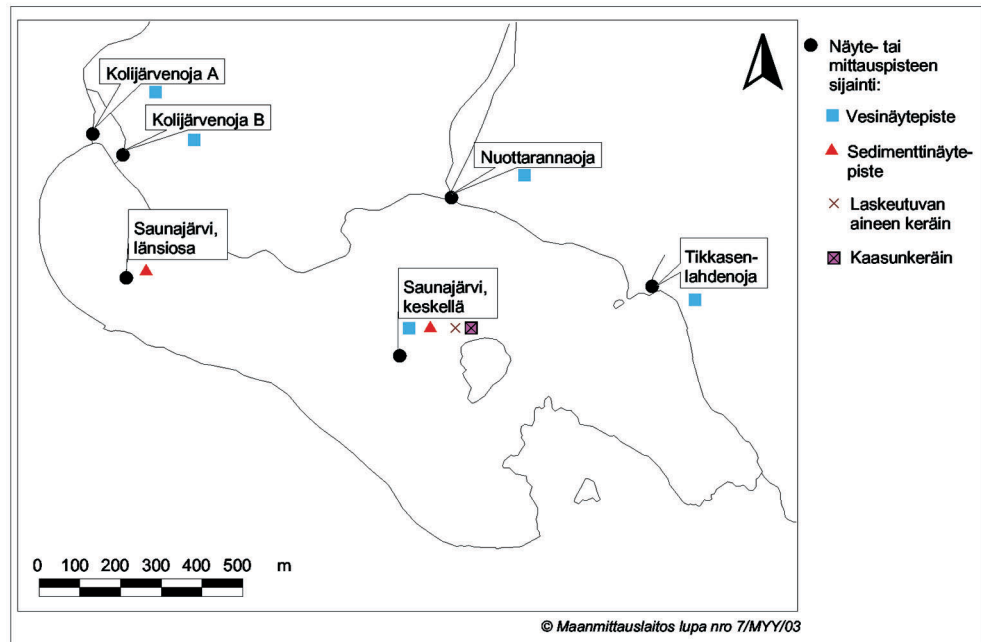
missä

| | |
|----------|---|
| C_{pv} | yhtälöllä ennustettu järveden fosforipitoisuus (mg P m^{-3}) |
| C_{pk} | fosforikuormituksen sekoituspitoisuus eli ulkoinen kuormitus sekoitettuna järven keskivirtaamaan (mg P m^{-3}) |
| T | järven keskiviipymä (a) |

Laskennalliseksi fosforipitoisuudeksi saatiin $22,1 \text{ mg P m}^{-3}$, kun ulkoinen kuormitus on $1,68 \text{ mg P s}^{-1}$. Ulkoisen kuormituksen perusteella lasketuista sietorajoista ja fosforipitoisuuksien ennusteista suhteessa mitattuun tilanteeseen voidaan päätellä, että sisäisellä kuormituksella on suuri merkitys Saunajärven nykyiseen tilaan. Pelkän ulkoisen kuormituksen perusteella järven fosforipitoisuus olisi hyvällä tasolla ja a-klorofyllipitoisuudet pysyisivät todennäköisesti alle $10 \mu\text{g l}^{-1}$.

2.4 Saunajärven veden laatu

Saunajärven veden laatua on seurattu säännöllisesti 1990-luvun lopusta lähtien. Aikaisempia seurantatietoja järvestä on hajanaisesti. Varhaisimmat vedenlaatu tiedot Saunajärvestä ovat vuodelta 1973. Veden laadun havaintopaikat ja muut Saunajärven näyte- ja mittauspisteet ovat kuvassa 4. Järven keskisyvänteestä näytteitä on otettu avovesikaudella ja kevättalvella. Näytteet on otettu pääosin kahdelta eri syvyydeltä (1 m ja 2,5 m), kesäaikaiset klorofyllinäytteet 0-2 m kokoomanäytteinä. Näytteistä on analysoitu lämpötila, happipitoisuus, sameus, alkaliniteetti, sähköjohtokyky, pH, väri, kemiallinen hapenkulutus, kokonais- ja mineraaliravinteet, rauta ja orgaanisen hiilen määrä sekä kesäaikana a-klorofylli. Järveen laskevista ojista (Kolijärvenoja A ja B, Nuottarannanoja, Tikkasenlahdenoja) näytteitä on otettu vuonna 2000 vedenkorkeuksien ja virtauksien ollessa riittävän suuria. Ojien virtausnopeudet on mitattu näytteenoton yhteydessä. Veden laatua on seuraavassa tarkasteltu ympäristöhallinnon vedenlaaturekisteriin alkuvuoteen 2001 mennessä kertyneen aineiston perusteella (liite 5).



Kuva 4. Näytteenottopisteet ja mittalaitteiden sijainti Saunajärvellä

2.4.1 Lämpötilakerrostuneisuus ja happipitoisuus

Saunajärvessä ei esiinny veden kerrostuneisuutta, sillä lämpötilat ja happimäärät ovat eri syvyyksillä samaa tasoa. Tuuli sekoittaa vettä ja nostaa myös ravinteita pohjan tuntumasta pintaveteen. Järven happitilannetta on vaikea arvioida käytettävissä olevan aineiston perusteella. Kevättalvella 1999 happi kului loppuun pohjan läheisyydessä, kun taas alkuvuoden 2001 tulosten perusteella happitilanne on hyvä (liite 5). Happitilanteen ajoittainen heikkous on rehevyyden seurausta ja osoittaa, että järvessä on runsaasti hajoavaa orgaanista ainesta. Hapen loputtua raudan pitoisuus kohosi vuonna 1999 pohjan tuntumassa selvästi, mutta fosforia ei juuriakaan liuennut (Näpänkangas 2001).

2.4.2 Veden väri, näkösyvyys, pH-arvot ja alkaliniteetti

Saunajärven veden humuspitoisuus on yleensä melko alhainen, minkä seurauksena vesi on väriltään lievästi ruskeaa. Leväesiintymät saattavat ajoittain selvästi tummentaa veden väriä, mikä ilmenee myös melko vähäisenä näkösyvyytenä. Talvella veden väri on kirkas. Alhainen näkösyvyys johtuneen ensisijassa järven planktonituotannosta, ei niinkään valumavesien tummasta väristä. Veden happamuustaso on ollut Saunajärvessä tavallisesti pH-asteikolla 6,0 - 7,0. Ajoittain pH-arvot ovat kohonneet poikkeuksellisen korkeiksi leväkukintojen vaikutuksesta.

Alkaliniteetin arvojen perusteella veden kyky vastustaa happamoitumista on Saunajärvessä melko heikko. Puskurikyky on toistaiseksi alentunut, mutta ei ole kulunut loppuun, joten veden happamuustaso ei ole laskenut. Järveen laskevissa ojissa alkaliniteetin arvot ovat erittäin alhaisia ja osassa näytteistä puskurikyky on kulunut lähes loppuun. Tällöin veden pH-arvot ovat ojissa laskeneet alhaisiksi, pH-arvoon 4. Ojien vedenlaadusta on tietoa vain loppuvuodelta 2000 alivirtaamisen aikaan, jolloin ne eivät ole merkittävästi muuttaneet tilannetta järvessä (Näpänkangas 2001).

2.4.3 Ravinnetaso

Ravinteiden pitoisuudet Saunajärven ilmentävät rehevyyttä. Rehevimmillään järvi on ollut syyskesinä vuosina 1992, 1993, 1995 ja 1999. Erityisesti lokakuussa 1999 kokonaisfosforin ja -typen pitoisuudet olivat korkeita. Järven loppukesän kokonaisfosforipitoisuudet päänlysedessä ovat noin viisinkertaisia talviaikaisiin arvoihin verrattuna, mikä viittaa pohjasedimentistä vapautuvaan ja kalaston aiheuttamaan sisäiseen kuormitukseen. Kevättalvella 1999 ammoniumtyypen pitoisuudet ovat olleet huomattavia ja myös kesällä hieman koholla (liite 5). Ammoniumtyypen pitoisuudet vesistössä yhdistetään yleensä lannan tai virtsan huuhtoutumiseen. Suovesissä ammoniumtyypipitoisuudet voivat olla myös luonnostaan korkeita. Saunajärvellä kesäaikaisten arvot ilmentävät jätevesikuormitusta (Hautala 2001; Näpänkangas 2001).

2.4.4 Rehevyysluokitus ja minimiravinne

Numeerinen rehevyysluokitus (TSI, Trophic State Index) perustuu kokonaisfosforin ja a-klorofyllin pitoisuuksien suhteeseen. Yleensä indeksi määritetään kesäkauden kokonaisfosforipitoisuuden tai a-klorofyllipitoisuuden mukaan. Laskukaavoissa (3) - (5) kolmantena muuttujana käytetään Secchin levyllä mitattua näkösyvyyttä (Cooke ym. 1993).

$$TSI_{kokP} = 10 \times \left[6 - \frac{\ln\left(\frac{48}{kok.P}\right)}{\ln 2} \right] \quad \text{kok. P } [\mu\text{g l}^{-1}] \quad (3)$$

$$TSI_{a-klor.} = 10 \times \left[6 - \frac{\ln\left(\frac{7,7}{a-klor.^{0,68}}\right)}{\ln 2} \right] \quad \text{a-klorofylli } [\mu\text{g l}^{-1}] \quad (4)$$

$$TSI_{näkösyyvyys} = 10 \times \left[6 - \frac{\ln(näkösyyvyys)}{\ln 2} \right] \quad \text{näkösyyvyys [m]} \quad (5)$$

TSI-arvot vaihtelevat nollan ja sadan välillä siten, että suuret arvot kuvaavat reheviä olosuhteita. Taulukossa 4 on Saunajärvelle lasketut TSI-arvot kesäaikaisten vesinäytteiden kokonaisfosforin mukaan. Niiden perusteella Saunajärven rehevyystaso on vaihdellut eutrofisen luokan (TSI 48...70) alarajalta aivan ylärajalle (luokkarajat, Lehmikangas 1998). Klorofylli-a havaintoja on vain kolme kappaletta (27.9.1993, 57 $\mu\text{g l}^{-1}$, 18.8.1999, 50 $\mu\text{g l}^{-1}$ ja 19.7.2000, 26 $\mu\text{g l}^{-1}$). Niiden mukaan laskettuna Saunajärvelle saatiin rehevämpi taso kuin fosforipitoisuudet osoittavat.

Taulukko 4. Saunajärven kesäaikaista vedenlaatuhavaintoja (1 m syvyydeltä) ja TSI-arvot kokonaisfosforipitoisuuden ja a-klorofyllipitoisuuden mukaan laskettuina.

| Näyte | Kok. P (μl^{-1}) | PO ₄ – P ($\mu\text{g l}^{-1}$) | Kok. N ($\mu\text{g l}^{-1}$) | NH ₄ – N ($\mu\text{g l}^{-1}$) | NO ₂ + NO ₃ – N ($\mu\text{g l}^{-1}$) | TSI _{kok.P} | TSI _{a-klor.} |
|-----------|----------------------------------|---|------------------------------------|---|--|----------------------|------------------------|
| 10.8.1988 | 41 | - | 560 | - | 2 | 58 | - |
| 6.7.1992 | 61 | - | 1500 | - | - | 64 | - |
| 27.7.1993 | 72 | - | 1700 | - | - | 66 | - |
| 2.6.1999 | 21 | - | 570 | 130 | 64 | 48 | - |
| 18.8.1999 | 54 | - | 1200 | 8 | 5 | 62 | 69 |
| 19.7.2000 | 43 | 3 | 940 | 5 | 5 | 58 | 63 |
| 29.8.2000 | 29 | 2 | 720 | 6 | 8 | 53 | - |

Minimiravinteen epäsuorassa arvioinnissa käytetään yleisesti mineraaliravinnesuhdetta, kokonaisravinnesuhdetta ja ravinteiden tasapainosuhdetta. Ravinnesuhteilla on merkitystä avovesiaikana, jolloin perustuotanto ja sen aiheuttamat haitat ovat suurimmillaan. Saunajärveltä kesäaikaista (kesä-elokuu) vedenlaatuhavaintoja on niukasti (taulukko 4). Kokonaisravinnetarkastelun perusteella fosfori on Saunajärvellä tuotantoa rajoittava ravinne. Mineraaliravinnetarkastelu voitiin tehdä vain vuoden 2000 tuloksista, jolloin kaikki mineraaliravinteet oli määritetty. Tuolloin heinäkuussa typpi oli rajoittava ravinne kun taas elokuussa sekä typpi että fosfori rajoittivat levätuotantoa (Heikkinen 2000).

Ravinnesuhteiden tulkinnassa on oltava varovainen, koska kohdevesistön vedenlaadusta ei ole ajallisesti kattavaa tietoa. Erityisesti rehevissä vesissä ravinnepitoisuudet ja ravinnesuhteet voivat vaihdella huomattavasti vuoden aikana, jolloin vain yhden tai muutaman havainnon perusteella arvioitu minimiravinne voi antaa väärän kuvan levien kasvua säätelevästä ravinteesta (Heikkinen 2000).

2.4.5 Yleistila ja leväesiintymät

Yleisluokitukseltaan (Vesi- ja ympäristöhallitus 1988) Saunajärven veden laatu on tyydyttävän ja välttävän luokan rajalla. Ravinnepitoisuudet viittaavat tyydyttävään luokkaan, a-klorofyllipitoisuudet välttävään luokkaan. Levähaitat ovat olleet säännöllisiä koko 1990-luvun ajan. Sinileväsamennuksia on ollut vuosina 1991, -92, -93, -94, -96, -97 ja -98. Kesällä 2000 levää oli tuskin havaittavasti. Runsaimpia kukintoja ovat aiheuttaneet *Anabaena circinalis* rab. sekä *Oscillatoria limosa* c.a.ag (Näpänkangas 2001).

2.5 Saunajärven sedimentin tila

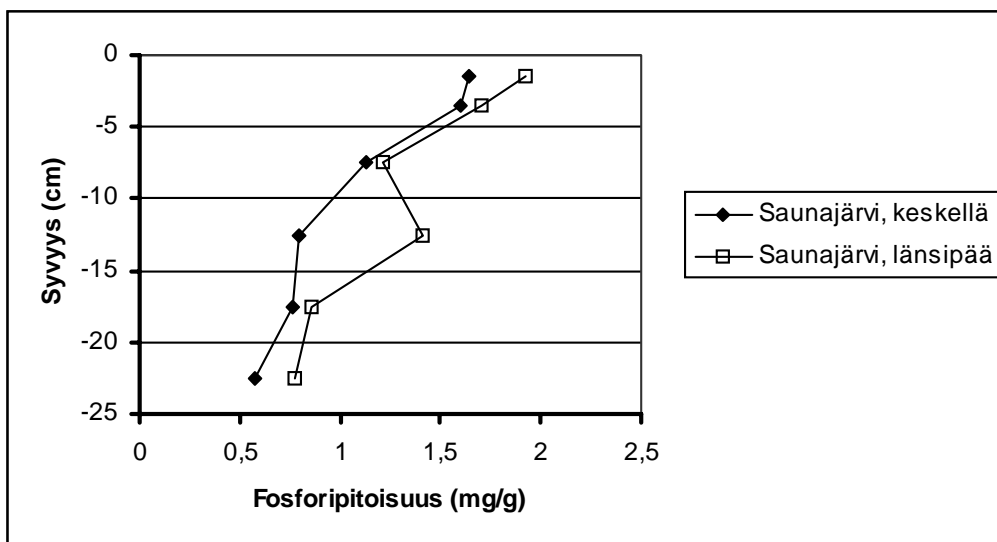
Saunajärven sedimentin paksuus määritettiin 28.9.2000 Venkaan kalastuskunnan ja Saunajärven loma-asukkaiden tekemässä kartoituksessa, jonka aikana vedenkorkeus oli N₆₀ +107,7 m. Sedimentin paksuus määritettiin, jotta voitiin arvioida sedimentin kokonaismäärä ja ruoppausmahdollisuudet. Sedimentin paksuuskartoituksen tulokset näkyvät liitteessä 2. Paksuimmillaan sedimenttiä on noin 3 m Lapinsaaren länsipuolella. Karkean arvion perusteella sedimenttiä on järvestä noin 500 000-600 000 m³. Sedimenttinäytteenotto suoritettiin heinäkuussa 2001 kahdella näytepisteellä (kuva 4). Näytteistä analysoitiin taulukon 5 mukaiset suureet. Saunajärven keskellä sijaitsevan näytepisteen sedimentti oli väriltään tummaa ja siinä näkyi silmin havaittavia ruskeita raitoja. Sedimentin tuoksu oli mieto, lähes happekaanoloinen.

Taulukko 5. Saunajärven sedimentin osanäytteiden syvyydet (cm) sedimentin pinnasta lukien eri muuttujien analyyseissä.

| Kuiva-ainepitoisuus, org. aineksen pitoisuus, P- ja N-pitoisuus, redox-potentiaali | Huokosveden $\text{PO}_4\text{-P}$ |
|---|--------------------------------------|
| 0-2 cm | + 1 cm (sedimentin yläpuolinen vesi) |
| 2-5 cm | 0-1 cm |
| 5-10 cm | 1-2 cm |
| 10-15 cm | 5-6 cm |
| 15-20 cm | 10-11 cm |
| 20-25 cm | |

2.5.1 Sedimentin ravinnepitoisuudet ja redox-potentiaali

Sedimentin kokonaisfosforipitoisuus 0-25 cm syvyydellä Saunajärvessä oli 0,6-1,9 mg/g kuiva-ainetta. Suurimmat fosforipitoisuudet mitattiin sedimentin pintakerroksista (kuva 5). Saunajärven keskeltä ja länsipäästä otettujen näytteiden pintasedimentin (0-10 cm) keskimääräinen fosforipitoisuus on 1,54 mg/g, joka on samaa suuruusluokkaa kuin esimerkiksi eutrofisessa Köyliönjärvessä ja hypereutrofisessa Tuusulanjärvessä (taulukko 6). OECD-maiden järvillä laaditun tutkimuksen mukaan sedimentti voi ulkoisen kuormituksen vähenemisen jälkeen aiheuttaa fosforin vapautumista kasvukaudella, jos sen fosforipitoisuus on noin 1mg/g. (Sas 1989, Kedon & Sammalkorven 1995 mukaan). Saunajärven sedimenttiin sitoutunut fosforimäärä ei ole kovin suuri. Tämän voi tulkita johtuvan sedimentin heikentyneestä kyvystä sitoa fosforia liukenemattomaan muotoon pois järven ravinnekierrosta tai fosforivarastojen vapautumisesta yläpuoliseen vesimassaan eli sisäisestä kuormituksesta. Tulkintaa sisäisen kuormituksen tilasta tukevat myös Saunajärven veden kesäaikaiset kokonaisfosforipitoisuudet, jotka ovat noin viisinkertaisia talviaikaisiin lukemiin verrattuna (liite 5).

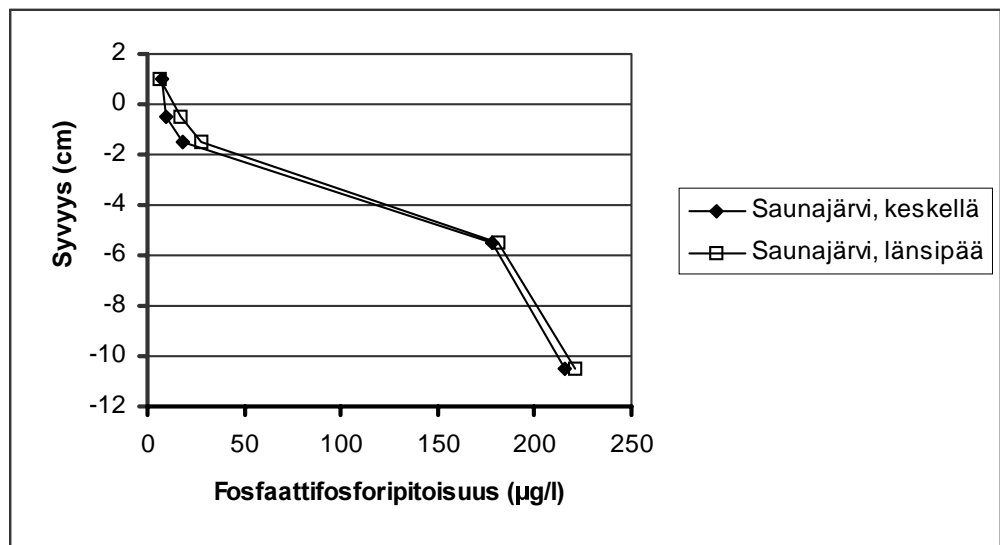


Kuva 5. Saunajärven sedimentin kokonaisfosforipitoisuudet (mg/g kuiva-ainetta) heinäkuussa 2001.

Voimakkaasti rehevöityneen Vihdin Enäjärven pintasedimentin fosforipitoisuuksien on havaittu kunnostuksen ja järven elpymisen myötä kasvaneen lukuarvosta 1,08 mg/g (Salonen ym. 1993) lukemaan 2,06 mg/g (Salonen & Varjo 1998), mikä kertoo sedimentin kunnan kohentumisesta. Samoin Vesijärven Enonselällä pintasedimentin fosforipitoisuudet ovat järven tilan elpymisen myötä hieman kohonneet. Kairesalon ym. (1995) tutkimuksissa Enonselän pintasedimentin kokonaisfosforipitoisuuden vaihteluväli oli 2,7-3,1 mg/g, kun aiemmin raportoidut (Kansanen 1992) vastaavat arvot olivat 2,0-2,9 mg/g).

Taulukko 6. Saunajärven ja muutamien vertailujärvien pintasedimentin fosforipitoisuudet.

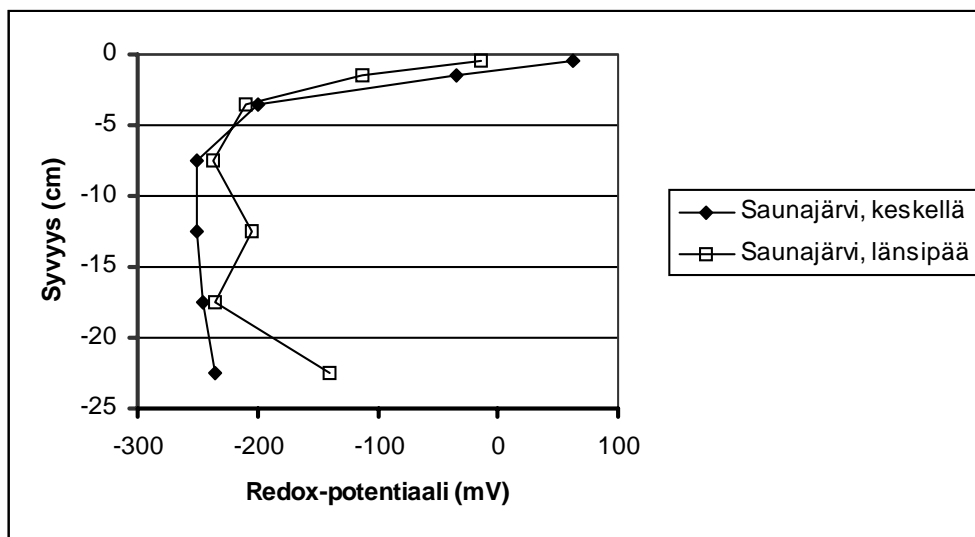
| Järvi (rehevyytaso) | Pintasedimentin fosforipitoisuus (mg/g) | Lähde |
|--|--|--|
| Köyliönjärvi (eutrofinen) | 1,23 | Itkonen & Olander 1997; Sarvala ym. 1995a |
| Tuusulanjärvi (hypereutrofinen) | 1,35 | Kansanen & Pekkarinen 1996 |
| Saunajärvi (eutrofinen) | 1,54 | tämä raportti |
| Vanajanselkä (eutrofinen) | 2,00 | Kansanen & Jaakkola 1985, Kansanen 1992 mukaan |
| Vihdin Enäjärvi (eutrofinen) | 2,06 | Salonen & Varjo 1998 |
| Etelä-Saimaan Haukiselkä (mesotrofinen) | 2,20 | Ins.tsto Paavo Ristola Oy, Kansanen 1992 mukaan |
| Vesijärven Enonselkä (eutrofinen) | 2,90 | Kairesalo ym. 1995 |
| Siikalampi (mesotrofinen) | 3,60 | tämä raportti |



Kuva 6. Saunajärven sedimentin huokosveden fosfaattifosforipitoisuudet (i g/l) heinäkuussa 2001.

Sedimentin typpipitoisuudet Saunajärvellä olivat 13-26,5 mg/g kuiva-ainetta. Hehkutushäviö, joka kuvaa orgaanisen hiilen määrää, oli 37-52 %. Suurimmat orgaanisen aineen pitoisuudet olivat sedimentin ylimmissä kerroksissa ja järven keskiosan näytteissä myös 15-20 cm syvyydessä (50,8 %). Keskimäärin pintasedimentin hehkutushäviö oli järven keskellä 47,5 % ja järven länsipäässä 50,5 %. Sedimentin huokosveden fosfaattifosforipitoisuus oli 7-221 $\frac{1}{4}$ g/l (kuva 6), ollen suurimmillaan 10-11 cm syvyydessä sedimentin pinnasta.

Sedimentin heinäkuiset redox-potentiaaliarvot kuvastavat olosuhteiden olevan pelkistävät ($< +200$ mV) eli fosforia vapauttavat (kuva 7) (mm. Särkkä 1996). Pintakerroksen alapuolella (>5 cm syvyydessä) redox-arvot ovat järven keskiosassa keskimäärin -245 mV ja järven länsipäässä -204 mV. Redox-potentiaaliarvoista voi päätellä tuulen aiheuttaman resuspension ilmastavan pintasedimenttiä.



Kuva 7. Saunajärven sedimentin redox-potentiaaliarvot (mV) heinäkuussa 2001.

2.5.2 Sedimentin kaasuntuotto

Saunajärven sedimentistä kuplimalla vapautuvan kaasun määrää selvitettiin asentamalla järven keskelle (kuva 4) kaasunkeräimiä (suppilon halkaisija 33,5 cm). Rinakkaisten (7 kpl) keräimien keskimääräinen kaasukertymä aikavälillä 19.7.-25.9.2001 oli 133 ml, josta laskettuna mittausjaksolla (68 vrk) pohjasta vapautui kaasuja 22,2 $\text{ml m}^{-2} \text{d}^{-1}$. Verrattuna esimerkiksi reheväksi luokitellun Ranuanjärven kesäaikaisiin lukuihin (noin 1-12 $\text{ml m}^{-2} \text{d}^{-1}$) Saunajärven sedimentistä kuplimalla vapautuvien kaasujen määrä vaikuttaa kohtalaisen suurelta. Ranuanjärvellä kaasuressuspensiota on pidetty keskeisenä sisäisen kuormituksen vapautumismekanismina (Puro ym. 1999). Verrattuna hypereutrofisen Tuusulanjärven vastaaviin lukemiin (keskim. 240 $\text{ml m}^{-2} \text{d}^{-1}$) (Sommarlund ym. 1998) Saunajärvellä mitatut kaasumäärät vaikuttavat pieniltä. Kaasuressuspensio on kuitenkin todennäköisesti yksi Saunajärven sisäisen kuormituksen vapautumismekanismeista ja yhteydessä loppukesään ajoittuvaan runsaimpaan fosforin vapautumiseen

2.5.3 Sedimentin ajoitus

Saunajärven sedimentin ajoitukseen käytettiin nokihiukkaskasmenetelmää (Renberg & Wik 1984). Nokihiukkasten määrä kasvaa suomalaisissa järvissä yleensä jyrkästi 1950-luvulta lähtien ja saavuttaa huippunsa 1970-luvulla, jolloin fossiilisten polttoaineiden käyttö lisääntyi rajusti. Myöhemmin kerrostuneissa sedimenttikerroksissa hiukkasmäärät vähenevät savukaasujen puhdistuksen tehostumisen myötä (Hynynen 2001).

Nokihiukkasten määrä Saunajärven sedimentissä alkoi kasvaa 11-12 cm syvyydestä ylöspäin ja näin ollen 1950-luvulla syntyneet kerrostumat sijaitsevat 10-12 cm syvyydessä. 1970-luvulla kerrostuneet sedimentit ovat 4-7 cm syvyydessä ja 1980-luvun kerrokset 2-4 cm syvyydessä. Saunajärven sedimentin paksuus on ajoituksen mukaan kasvanut keskimäärin 2,3 mm vuodessa, jota voidaan pitää pitkän aikavälin nettosedimentaationa. Nokihiukkasanalyysin luotettavuutta häiritsee järven mataluus (maksimisyyvyys 4 m), sillä matalissa järvissä tuulen ja aallokon sedimenttiä sekoittava vaikutus saattaa ulottua myös järven syvimmille alueille. Sedimentti todettiin hyvin turvepitoiseksi, mikä viittaa valuma-alueelta tulevaan kiintoainekuormitukseen. Tästä johtuen näytteiden esikäsittely ja homogenisointi analyysia varten oli vaikeaa. Sedimentin huono sekoittuminen veteen analyysivaiheessa onkin voinut jossain määrin vääristää nokihiukkasanalyysin tulosta (Hynynen 2001).

2.6 Kalastus ja hoitotoimenpiteet saunajärvellä

Kalastotiedot perustuvat Oulun maaseutukeskuksen (1992) kalatalouskeskuksen kalavesikortteihin, Venkaan kalastuskunnan antamiin tietoihin sekä Metsähallituksen vuonna 1993 Saunajärvellä suorittaman tehokalastuksen saalistietoihin. Kunnostussuunnittelun alkuvaiheessa Saunajärvellä ei suoritettu verkkokoekalastuksia.

Venkaan kalastuskunta on ryhtynyt kalastamaan Saunajärvestä vähäarvoista kalastoa jo 1990-luvun alussa. Kotitarve- ja virkistyskalastajien määrä on noin 100 henkilöä 35 perheestä. Vaikka resurssit eivät ole riittäneet haluttuun saalistavoitteen, on järven vedenlaatu kalastuskunnan havaintojen mukaan parantunut vuoteen 1997 mennessä. Tämä on kannustanut jatkamaan roskakalan poistoa. Vuonna 1998 ja kesällä 1999 Saunajärvestä on poistettu roskakalaa, raivattu rantoja, niitetty vesikasveja, nostettu uppopuita sekä kunnostettu ojia työllisyysvaroin yhteensä 7 kuukauden ajan (Venkaan kalastuskunta 1998; Tapani 2001).

Metsähallituksen ja kalastuskunnan arvioidut kalansaaliit huomioon ottaen Saunajärvestä on pyydetty kalaa yhteensä lähes 25 000 kg viimeisen kymmenen vuoden aikana. Viime vuosien kokonaissaalisarviot Venkaan kalastuskunnan osalta on esitetty taulukossa 7. Kalastuskunnan havaintojen mukaan runsas särkikanta on vuoteen 2000 mennessä korvautunut osittain ahvenella ja molempia lajeja on suurin piirtein yhtä paljon (Venkaan kalastuskunta 1998; Venkaan kalastuskunta 2000).

Taulukko 7. Saunajärven kalansaalistietoja Venkaan kalastuskunnan osalta (Venkaan kalastuskunta 1997, 1998, 2000; Tapani 2001).

| Kalansaalis (kg/a) | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
|--------------------|------|-------|-------|-------|
| Särki | 360 | 1 430 | 1 900 | 593 |
| Ahven | 450 | 580 | 1 050 | 564 |
| Kiiski ja made | 60 | 41 | 54 | 54 |
| Hauki | 100 | 289 | 370 | 323 |
| Yhteensä | 970 | 2 340 | 3 374 | 1 534 |

Metsähallituksen toimesta Saunajärvellä yritettiin tehokalastusta syys-lokuussa 1993. Pyynti tapahtui pääasiassa 162 metriä pitkällä avoperänuotalla. Pyydyksenä kokeiltiin lisäksi kurenuottaa, joka ei loppujen lopuksi soveltunut matalaan järveen. Myös rysäpyyntiä kokeiltiin, mutta rysiä ei saatu oikealle pyyntisyvyydelle, joten niiden pyyntiteho jäi vähäiseksi. Lisäksi kalaparvien sijaintia selvitetiin kaikuluotaimen avulla ennen nuottausta. Kalansaalis jäi vähäiseksi, minkä syyksi kalastajat arvioivat harvoja havaksia (30 mm), joista kalat mahdollisesti pakenivat. Saaliin määrään saattoi vaikuttaa myös kalastuksesta aiheutunut melu. Perämoottorin käyttö on Saunajärvellä kielletty loma-asukkaiden toiveesta. Lisäksi pelkästään nuotan laskusta aiheutuva melu voi karkottaa kaloja matalalla, 2-3 metriä syvällä nuottausalueella (Hintikka & Karjalainen 1993).

2.7 Saunajärven kunnostustavoitteet ja suositukset

2.7.1 Ulkoisen kuormituksen vähentäminen

Kuormituslaskelman mukaan yksinomaan nykyinen ulkoinen kuormitus ei aiheuttaisi Saunajärven rehevöitymistä. Kuormitusta on kuitenkin syytä vähentää, koska se edesauttaa sisäiseen kuormitukseen kohdistuvia toimenpiteitä. Lisäksi loma-asutuksen ja metsätalouden kuormitusvaikutus vaihtelee hieman vuosittain. Tässä esitettävät suositukset Saunajärven kuormituksen vähentämiseksi on suunniteltu ehkäisemään myös lomakautena esiintyviä kuormitushuippuja (Paananen 2001).

Metsätalous

Metsätalouden kuormituksen vähentämistavoitteeksi asetetaan 30 % fosforin ja typen osalta sekä 15 % kiintoaineen osalta. Valuma-alueella ei pidä tehdä uusia ojituksia ja avohakkuita sekä aurauksia on vältettävä. Myös metsäalueiden lannoituksen välttäminen on jatkossakin suositeltavaa. Suojavyöhykkeiden jättäminen hakkuu- ja muokkausalueiden sekä vesistön välille on tärkeää. Kuormituksen vähentämistavoitteen saavuttamiseksi Tikkasenlahdenojaan ja Nuottarannan ojaan järven pohjoispuolelle on suositeltavaa rakentaa ojakatkokset. Myös Patosuolta, järven itäpuolelta Saunaojaan päin laskevaan kokoojaajaan tulee rakentaa ojakatkos, koska keväisten ylivirtaamien aikana Patosuolta valuvat vedet laskevat ajoittain Saunajärveen. Järven pohjoispuolisen ojitusalueen kokoojaojiin on tarkoituksenmukaista rakentaa myös laskeutusaltaat ja pintavalutuskentät. Allas-pintavalutuskenttä -yhdistelmä olisi rakennettava riittävästi tien yläpuolelle, jotta siitä ei aiheutuisi tulvahaittoja mökkitielle.

Loma-asutus

Paananen (2001) tarkasteli kolmea eri vaihtoehtoa Saunajärven loma-asutuksen kuormituksen vähentämiseksi. Vaihtoehtoina olivat:

1. Kiinteistökohtainen jätevesien käsittely
2. Yhteisviemäröinti LPS-järjestelmällä koko valuma-alueella
3. Yhteisviemäröinti LPS-järjestelmällä eteläpuolisilla kiinteistöillä ja kiinteistökohtainen käsittely järven pohjoispuolella.

HajaKäsi-työryhmän raportin (Hiltunen 1997) mukaisesti loma-asunnoille olisi suositeltavaa rakentaa yhteisiä maaperäkäsittely-yksiköitä. Järven pohjoispuolen 13 kiinteistölle suunniteltiin imeytyskentät ja 14 etelä-rannalla sijaitsevalle kiin-

teistölle maasuodatin. Vastaavasti Lapinsaaren kahdelle kiinteistölle suunniteltiin sakokaivo ja maahanimeytys. Jätevesien maaperäkäsittely ei kuitenkaan ole Saunajärvellä mahdollista, koska järvi sijaitsee tärkeällä pohjavesialueella.

Loma-asutuksen vesistökuormitusta voidaan vähentää myös jätevesien pienpuhdistamolla. Tätä varten loma-asutus tulisi viemäröidä joko kokonaisuudessaan (vaihtoehto 2) tai osittain (vaihtoehto 3). Pienpuhdistamo suunniteltiin Saunajärvelle sen mukaan, että ensisijaisesti vähennetään fosforikuormitusta (70 %) ja toissijaisesti biologista hapenkulutusta (90 %). Tästä johtuen kemiallinen pienpuhdistamo soveltuu Saunajärvelle biologiskemiallista laitosta paremmin, kun lisäksi huomioidaan suuri virtaamavaihtelu (Rontu 1992, Heiskanen 1992). Saunajärvellä vietettävät yöpymisvuorokaudet keskittyvät kesän lomakauteen, jolloin mitoitusvesimääräksi saadaan $6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ja asukasvastineluvuksi 50. Leirikeskuksessa järjestettävien partiolaisten leirien jätevesimääriä ei ole otettu huomioon tarkastelussa.

Yhteenveto ulkoisen kuormituksen vähentämismenetelmistä ja kustannuksista

Saunajärveen kohdistuva hajakuormitus arvioitiin eri vesiensuojelutoimenpiteiden toteuttamisen jälkeen Hiltusen (1997) esittämien menetelmäkohtaisten puhdistustehojen mukaan (taulukko 8). Esitettyjen vesiensuojelutoimenpiteiden kustannukset ja poistetulle fosforikilolle muodostuva hinta on koottu taulukoon 9. Tarkemmin Saunajärven vesiensuojelutoimenpiteiden toteuttamisen kustannusarvioita on käsitellyt Paananen (2001). Kaiken kaikkiaan fosforinkuormituksen vähentäminen metsätalouden vesiensuojelurakenteilla on Saunajärven tapauksessa edullisempaa kuin loma-asutuksen jätevesien käsittely.

Taulukko 8. Saunajärven arvioitu hajakuormitus vesiensuojelutoimenpiteiden toteuttamisen jälkeen (kg a^{-1}).

| Kuormituslähde | Kuormituslaji | Vaihtoehto 1 | Vaihtoehto 2 | Vaihtoehto 3 |
|----------------|------------------|--------------|--------------|--------------|
| Loma-asutus | fosfori | 2,4 | 4,7 | 4,0 |
| | typpi | 37,2 | 39,8 | 39,0 |
| | BHK ₇ | 3,4 | 29,5 | 21,7 |
| Metsätalous | fosfori | 8,1 | 8,1 | 8,1 |
| | typpi | 117,8 | 117,8 | 117,8 |
| | BHK ₇ | 3567 | 3567 | 3567 |
| YHTEENSÄ | fosfori | 10,5 | 12,8 | 12,1 |
| | typpi | 155 | 157,6 | 156,8 |
| | BHK ₇ | 3570,4 | 3596,5 | 3588,7 |

Taulukko 9. Yhteenveto investointi-, käyttö- ja saneerauskustannuksista sekä poistetun fosforikilon hinnasta eri menetelmillä.

| | Investointi- ja toimenpitekustannukset v. 2001 (EUR) | Käyttö-kustannukset v. 2001 - 2021 (EUR) | Saneeraus-kustannukset v. 2001 - 2021 | Pääomitetut kokonaiskustannukset (EUR) | Poistetun fosforikilon hinta (EUR kg P ⁻¹) |
|--------------|--|--|---------------------------------------|--|--|
| Vaihtoehto 1 | 54 760 | 24 380 | 10 630 | 89 770 | 37 400 |
| Vaihtoehto 2 | 190 720 | 7 360 | 0 | 198 080 | 42 142 |
| Vaihtoehto 3 | 101 240 | 16 870 | 10 630 | 128 740 | 32 189 |
| Metsätalous | 3 030 | 0 | 810 | 3 840 | 474 |

2.7.2 Sisäisen kuormituksen vähentäminen

Ravintoketjukurkennostus

Ravintoketjukurkennostuksessa järvestä poistetaan planktonia ja pohjaeläimiä syöviä kaloja sekä lisäksi istutetaan petokaloja järvenveden laadun parantamiseksi. Erityisesti särkikalojen poistaminen vähentää järvestä kiertävän fosforin määrää, kalojen aiheuttamaa pohjasedimentin pöyhintää (bioturbaatio) sekä eläinplanktonlaidunnusta.

Särkikalojen määrän lisääntyessä eläinplanktonin määrä ja kasviplanktoniin kohdistuva laidunnus vähenee. riittävän tehokkaasti, seuraa levämäärien kasvu ja järven näkösyvyyden pienentyminen. Särkikalat suosivat ruokanaan suuria vesikirppuja, jotka olisivat pieniä eläinplanktonlajeja tehokkaampia kasviplanktonin käyttäjiä (Sarvala ym. 1995b; Urho 1994).

Kalakannan suuruuden lisäksi sekä laji- että kokojakauma vaikuttavat järven ravinnekiertoon. Rehevoityneissä järvissä valtalajeina ovat useasti särkikalat. Lahnat ja särjet pöyhivät pohjalietettä pohjaeläimiä syödessään ja samalla siirtävät ravinteita pohjasedimentistä veteen. Kaloihin varastoituneet ravinteet palautuvat ekosysteemiin kuolleiden kalojen hajotessa järven pohjassa. Sadan kilon särkisäiliin mukana poistuu vesistöä noin 500 grammaa fosforia (Kairesalo ym. 1990).

Olemassa olevien vedenlaatu- ja kalastotietojen perusteella ravintoketjukurkennostus soveltuu Saunajärven sisäisen kuormituksen vähentämismenetelmäksi. Toimenpiteet koostuvat koe- ja raivausnuottauksista, tehokalastuksesta sekä mahdollisesti petokalaistutuksista. Tehokalastukset toteutetaan ammattikalastajien työnä, jotta samalla saadaan luotettavat seurantatiedot saaliskalastosta yksikkösaalistarkastelun avulla. Ensimmäisen toimenpidevuoden aikana tavoitteena on poistaa noin 2 500 kg roskakalaa, selvittää soveltuvimmat pyyntimuodot, tarkentaa tietämystä kalakannan koosta ja lajijakaumasta sekä seurata kalastuksen vaikutuksia järvelle. Tehokalastuksia on jatkettava 4-5 vuotena. Kokonaisuudessaan kalastuksilla on päästävä yhteensä 16 000 kg:n poistoon (taulukko 10). Tilanteen säilymisen kannalta järveen pitäisi muodostua vahva petokalakanta. Näin ollen esimerkiksi haukien ja kuhien määrän pitäisi olla 30 – 40 % jäljelle jäävästä kalastosta (Äystö 1997). Suositukset vuosittaisiksi saalismääriksi on tarkistettava ensimmäisen kesän koekalastustulosten ja kalastotietojen perusteella. Tehokalastukset kannattaa ajoittaa joko alkukesään ennen juhannusta tai syyskuulle (Huuskonen 2000).

Taulukko 10. Saunajärven ravintoketjukurkennostuksen toteuttaminen.

| Vuosi | Pyyntitavoite (kg ha ⁻¹) | Saalitavoite (kg) |
|----------|--------------------------------------|-------------------|
| 2001 | 32 | 2 560 |
| 2002 | 58 | 4 640 |
| 2003 | 56 | 4 480 |
| 2004 | 56 | 4 480 |
| Yhteensä | 202 | 16 160 |

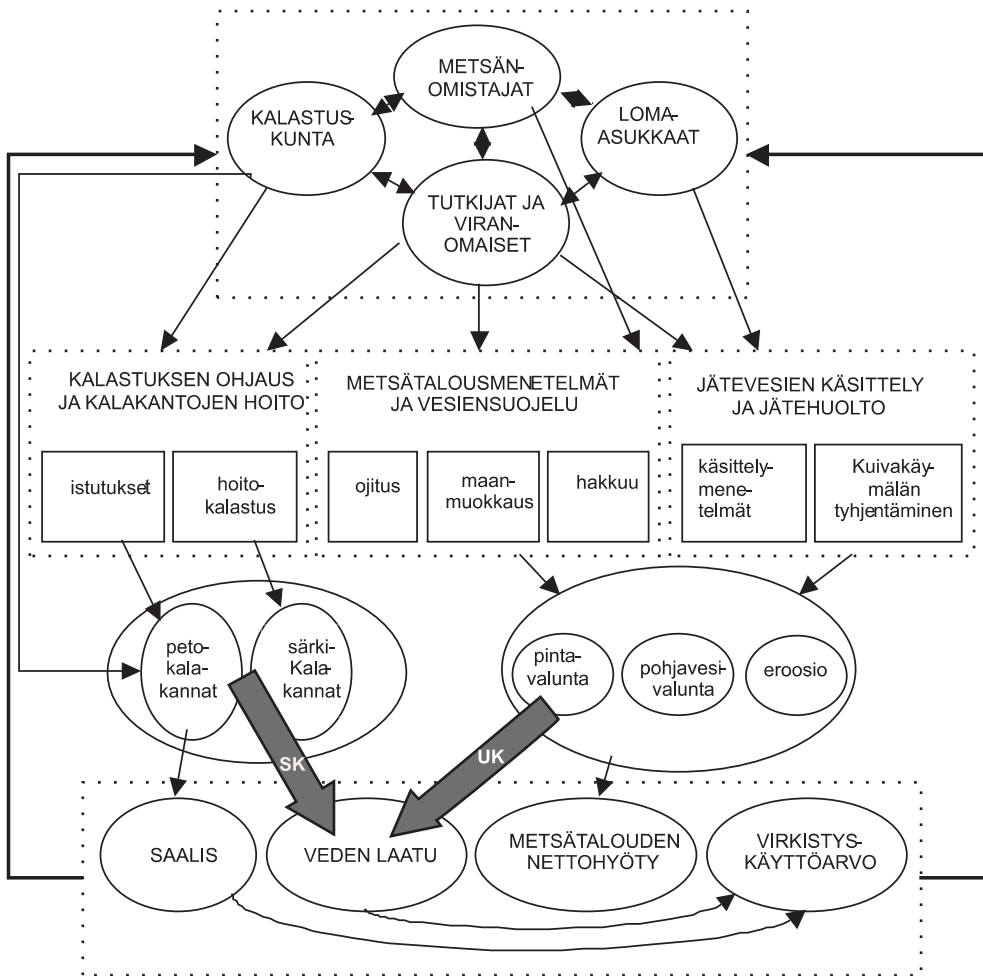
Ravintoverkkokunnostuksen kustannuksiksi arvioidaan Hirvosen & Salosen (1995) mukaan noin 34 EUR ha⁻¹ a⁻¹. Arvioituna tehokalastussaaliiin ja sen hyötykäyttöön kuljetuksen kustannusten perusteella kokonaiskustannuksiksi on muodostunut noin 0,40 EUR kg⁻¹. Hintatiedot perustuvat Lahden Vesijärven, Köyliönjärven ja Liperin Pohjanlammen ravintoketjukkunnostuksiin (Hirvonen & Salonen 1995). Hehtaarikohtaisen hinnan mukaan Saunajärven ravintoketjukkunnostuksen työ kustannuksiksi neljän vuoden aikana tulisi 10 770 EUR. Pyydetyn kalamäärän (kokonaissaalistavoite) mukaan kustannukset ovat noin 6 800 EUR. Kalansaaaliiden hyötykäyttö alentaa kustannuksia. Ravintoketjukkunnostuksella poistetulle fosforikilolle 11 800 EUR:n kokonaiskustannusten mukaan hinnaksi muodostuu noin 146 EUR.

Toimenpiteiden seurauksena näkösyvyyden pitäisi kasvaa ja fosforipitoisuuden laskea siten, että leväkukinnot vähenisivät. Tarkoituksen mukaista on seurata myös muita ravintoketjukkunnostuksen aiheuttamia muutoksia, kuten järven kasvillisuutta sekä eläinplanktonlajeja ja kokojakaumaa. Ravintoketjukkunnostuksen lisäksi järven pohjasedimenttiä suositellaan käsiteltäväksi myöhemmin valittavalla tavalla. Soveliaimmilta nykyisen tiedon perusteella vaikuttavat pohjan nitraattikäsittely ja pöyhintä.

2.7.3 Saunajärven avainryhmät ja ympäristötietoisuus

Järven ja sen valuma-alueen tarkastelun lisäksi kunnostusta suunniteltaessa tulee tarkastella myös järven ja valuma-alueen käyttäjien ja asukkaiden merkitystä järven tilan parantamisessa ja hoitotapojen kehittämisessä. Etenkin paikallinen kalastuskunta on Saunajärvellä osoittautunut aktiiviseksi yhteistyökumppaniksi järven kunnostuksessa. Tavoitteena Saunajärvellä onkin yhdistää paikallisten tahojen osallistuminen järven kunnostustoimiin ja järven tilan seurantaan. Lahden Vesijärvelle (Suoraniemi ym. 1998) kehitettyä järven ja valuma-alueen avainryhmät sisältävää kaaviota voidaan muotoilla Saunajärvellä kuvan 8 kaltaiseksi. Kuvaan on koottu myös Saunajärven kunnostuksen suunnittelussa huomioon otetut ja järven tilaan vaikuttavat päätekijät.

Ympäristötietoisuuden lisäämiseksi ja paikallisten toimijoiden aktiivisuuden ylläpitämiseksi Saunajärven kunnostussuunnitelmaan on sisällytetty tiedotustilaisuuksien ja järvellä tapahtuvien toimintapäivien järjestäminen. Saunajärven loma-asukkaita pyritään kannustamaan myös kunnostustoimien aikana tapahtuvaan järven tilan omaehtoiseen seurantaan, joka tukee Siuruanjoki kuntoon -yhteishankkeen rahoittamaa viranomaistahojen suorittamaa seurantaa.



Kuva 8. Saunajärven ja valuma-alueen tärkeitä toimijat, tekijät ja vaikutusketjut. UK = ulkoinen kuormitus, SK = sisäinen kuormitus (Suoraniemi ym. 1998: kuva 3, muokattuna).

2.8 Saunajärvi kunnostussuunnittelun jälkeen

2.8.1 Ulkoisen kuormituksen vähentäminen

Toteutettu ulkoisen kuormituksen vähentäminen on poikennut kunnostussuunnittelun aikaisista suosituksista. Pääpaino on ollut Siuruanjoki Kuntoon -hankkeen mukaisissa toimitissa lähinnä metsätalouden ja loma-asutuksen aiheuttaman kuormituksen vähentämisessä.

Metsätalous

Ojituksia Saunajärven valuma-alueella ei ole tehty 1970-luvun jälkeen. Kunnostusojituksia alueella on tehty Metsähallituksen toimesta ainoastaan pienimuotoisesti. Metsiä ei ole lannoitettu 1970-luvun jälkeen. (Junttila et al. 2002) Siuruanjoki kuntoon -yhteishankkeen puitteissa on kartoitettu luonnontilaiset sekä jo rakennetut metsätalouden valumavesien käsittelyyn soveltuvat pintavalutuskentät ja kosteikot koko Siuruanjoen sekä sen sivujokien läheisyydestä. Kohteet on merkitty Metsähallituksen, metsäkeskuksen sekä metsänhoitoyhdistysten paikkatietorekistereihin, joista ne ovat suoraan uusien kunnostusojitus- ja maanmuokkaushankkeiden suunnittelijoiden käytettävissä. Tehty kartoitustyö palvelee myös Saunajärven valuma-alueen tulevia metsätalouden vesiensuojelutoimenpiteitä.

Loma-asutus

Loma-asutuksen jätevesien käsittelyn todettiin kunnostussuunnitteluvaiheessa olevan puutteellista. Alueen lomamökeille ei kuitenkaan tule vesijohtoa, joten niissä syntyvät jätevesimäärät ovat hyvin pieniä. Alueen viemäröinnin on katsottu olevan perusteetonta ja kohtuuttoman kallis ratkaisu verrattuna siitä saatavaan hyötyyn juuri vähäisen jätevesimäärän takia. Ratkaisuna jätevesien käsittelyyn lomamökkiläisille on tarjottu jätevesineuvontaa sekä avustuksia kompostikäymälän hankkimiseen. Mökkiläiset ovat saaneet avustusta Siuruanjoki kuntoon –hankkeelta 30 % kompostikäymälän toteuttamiskustannuksista. Yhteensä 13 lomamökkiä on uudistanut käymälänsä, jolla voidaan katsoa olevan vesiensuojelua tehostavaa vaikutusta. Partiolaisten leirikeskuksen käyttöaste on viime vuosina ollut huomattavasti edellisvuosia alhaisempi. Mikäli leirikeskuksen toiminta vilkastuu jatkossa, tulisi jätevesien käsittely saada paremmin hallintaan esimerkiksi johtamalla jätevedet umpisäiliöön tai rakentamalla maasuodatin niiden käsittelemiseksi ja johtaa käsitellyt jätevedet pohjavesialueen ulkopuolelle.

2.8.2 Tehokalastus

Saunajärven hoitokalastustarve selvitettiin syksyllä 2001 ja samana syksynä järvellä suoritettiin ensimmäinen tehokalastusjakso (Hautala 2001). Nuottaamalla tehtyä tehokalastusta jatkettiin syksyllä 2002 ja 2003. Tämän lisäksi hoitokalastuksilla tuetaan tehopyynnin vaikutusta kalastoon ja järven tilaan. Tehokalastuksen vaikutusta kalastoon on seurattu säännöllisesti. Saaliista on otettu satunnaisnäytteet kokonaissaaliin laji- ja kokojakauman selvitystä varten. Eri vuosien tehopyynnin saalista, lajien runsaussuhteita ja kalojen kasvua on myös verrattu toisiinsa tilanteen kehittymisen arvioimiseksi (Kiiskilä 2001, Tertsunen 2002).

Vuoden 2002 poistopyynnissä saatiin saaliiksi yhteensä 8000 kg kalaa. Sauna-järven pinta-alan ollessa 78,4 ha kokonaissaalis oli siis 110,5 kg/ha, kun se vuonna 2001 oli vain 44,6 kg/ha. Syksyllä 2003 saalis jäi jälleen pieneksi, 45 kg/ha. Satunnaisnäytteistä selvitetty kokonaissaaliin laskennallinen sisältö vuosina 2001-2003 on esitetty taulukossa 11 (Hautala 2002A, Tertsunen 2002, Hautala 2003A).

Taulukko 11. Tehokalastussaalis, lajijakauma (kg-määristä laskettuna) sekä lajikohtaiset keskipainot (kp.) Saunajärven vuosina 2001-2003. Osuudet ja keskipainot laskettu Kiiskilän (2001) ja Hautalan (2002A, 2003A) aineiston mukaan.

| laji | Saalis 2001 | | | Saalis 2002 | | | Saalis 2003 | | |
|--------|-------------|------|---------|-------------|------|---------|-------------|------|---------|
| | kg | % | kp. (g) | kg | % | kp. (g) | kg | % | kp. (g) |
| särki | 2858 | 81,7 | 13,1 | 7609 | 95,1 | 17,9 | 2826 | 79,4 | 28 |
| ahven | 463 | 13,2 | 6,0 | 366 | 4,6 | 11,4 | 337 | 9,5 | 11 |
| kiiski | 179 | 5,1 | 4,1 | 25 | 0,3 | 3,0 | 398 | 11,2 | 7 |
| Yht. | 3500 | 100 | 10,3 | 8000 | 100 | 17,2 | 3561 | 100 | 20 |

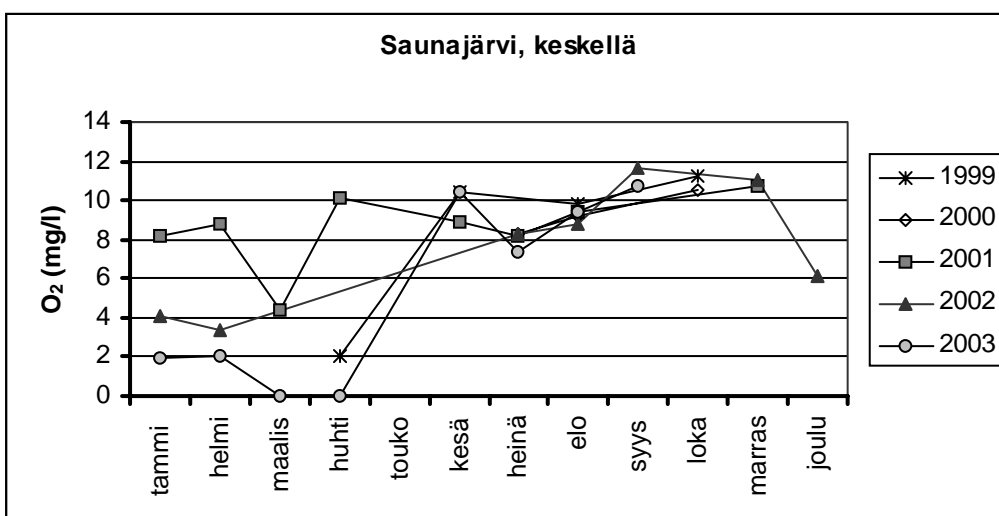
2.8.3 Ympäristötietoisuuden lisäämistä ja omaehtoista järven tilan seurantaa

Järven tilan seurannassa ovat ympäristökeskuksen lisäksi olleet mukana myös Venkaan kalastuskunta, Pudasjärven kaupunki sekä Saunajärven loma-asukkaat ja maanomistajat. Yhteistyötä järven loma-asukkaiden, kalastuskunnan ja viranomaisten välillä on ylläpidetty järjestämällä toimintapäiviä, joiden sisältönä on ollut mm. Siuruanjoki kuntoon –hankkeen yleisesittely, Saunajärven vedenlaatutulosten ja tehokalastustoimien tarkastelu sekä jätevesineuvonta.

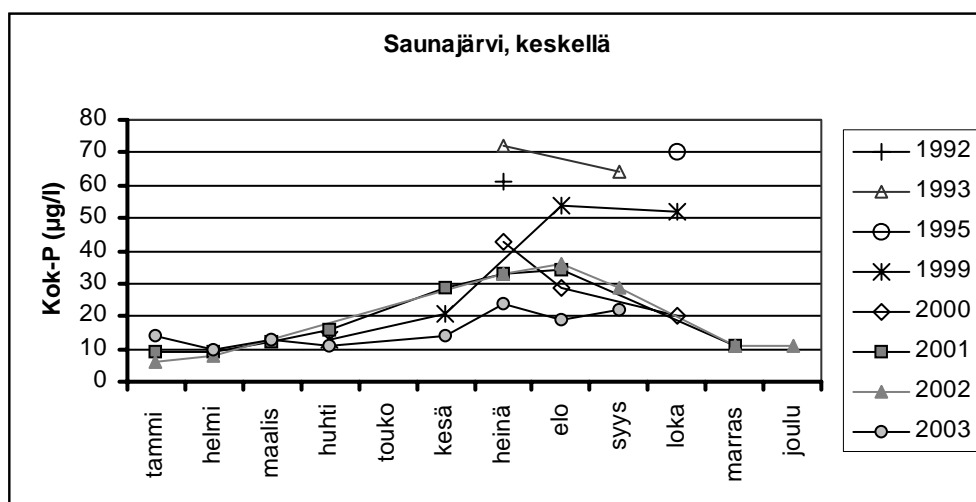
Saunajärveläisiä on myös opastettu omaehtoisessa järven tilan seurannassa. Lomamökkiläiset ovat seuranneet järven näkösyvyyttä vuosina 2001-2004 hyvällä menestyksellä. Tulosten mukaan näkösyvyys on lisääntynyt ollen parhaimmillaan 1,6 m.

2.8.4 Veden laatu kunnostustoimien jälkeen

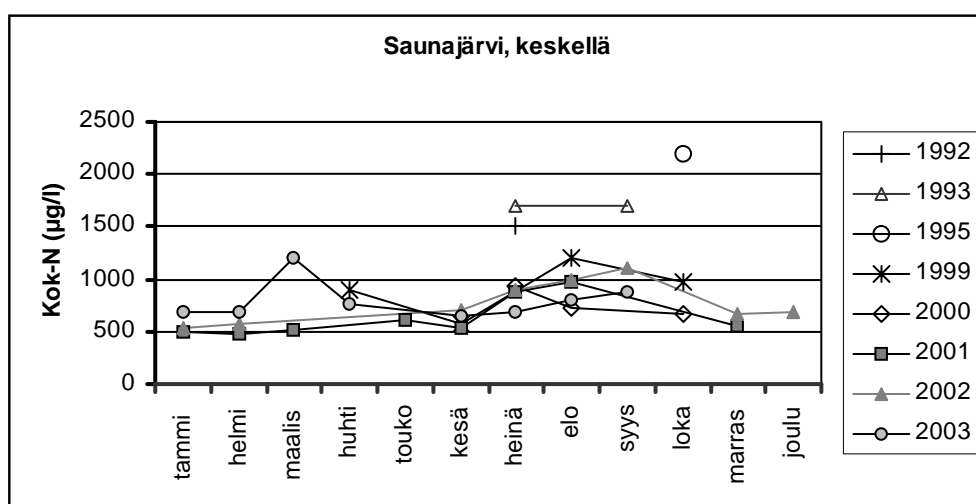
Veden laatu Saunajärvellä on yleisesti ottaen paranemassa. Happitilanne järvessä on joitakin kevättalven ajankohtia lukuunottamatta hyvä. Maalis-huhtikuussa 2003 happi kului järven pohjaosista loppuun, mihin todennäköisimpänä syynä on edeltävänä syksynä poikkeuksellisen aikaisin muodostunut jääkansi, ei niinkään järven yleistilan huonontuminen (kuva 9). Ravinnepitoisuuksissa, etenkin fosforin osalta on havaittavissa selvästi pienenevä kehityskulku alkaen 1990-alkuvuosista (kuvat 10-11). Typpipitoisuudet eivät ole laskeneet aivan yhtä selvästi. Happikato näkyi typpipitoisuuden kohoamisena kevättalvella 2003.



Kuva 9. Happipitoisuudet Saunajärven alusvedessä (2-2,5 m syvyydessä) vuosina 1999-2003.



Kuva 10. Kokonaisfosforipitoisuudet Saunajärven pintavedessä (1 m) vuosina 1992-2003.

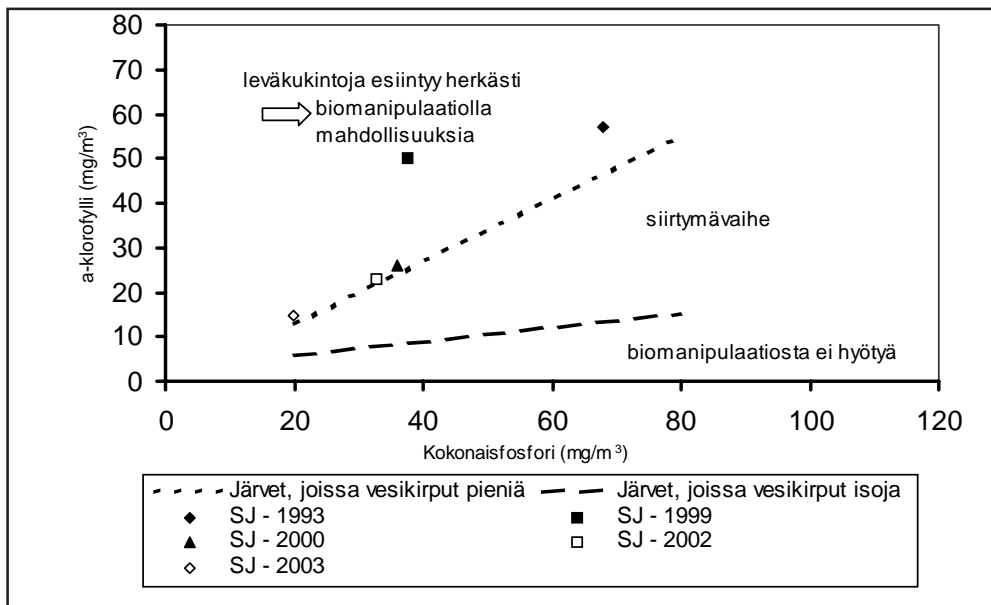


Kuva 11. Kokonaistyyppipitoisuudet Saunajärven pintavedessä (1 m) vuosina 1992-2003.

Ravinteiden määrän vähenemiseen on vaikuttanut mm. loma-asukkaiden harjoittama vesikasvillisuuden osittainen niittäminen lähes joka kesä, ponnistelut roskakalaston vähentämiseksi sekä ulkoisten ravinnekuormituslähteiden tarkempi huomioiminen. Saunajärven rehevyystaso on muuttumassa rehevästä karumpaan suuntaan. Fosforipitoisuuksien perusteella järven voidaan sanoa olevan lähellä lievästi rehevää tasoa, typpi- ja a-klofyllipitoisuudet sen sijaan ovat laskevasta suuntauksesta huolimatta toistaiseksi pysyneet rehevän järven lukemissa. Järvellä on myös edelleen havaittu sinileväsamennoksia kesäkuukausina 2001-2003, joskaan ei runsaina esiintyminä.

Saunajärven tilan kehittymisen ja tehokalastuksen vaikutusten seuraamiseksi vuonna 2002 tutkittiin myös järven eläinplanktonlajiston koostumusta. Keskikesällä (27.6.) ja loppusyksyllä (26.9.) otetut kokoomanäytteet (0-2 m) suodatettiin 50 µm planktonhaavin läpi ja kestäväitöitiin neutraloidulla formaliinilla. Eläinplanktonlajisto määritettiin mikroskopoimalla. Näytteistä tutkittiin myös vesikirppulajiston (Cladocera) tiheys sekä planktereiden pituudet (Viitamäki 2002).

Eläinplanktonlajistossa havaittiin rataseläimiin (Rotatoria) kuuluvat *Tricocerca cylindrica* ja *Keratella cochlearis* sekä vesikirppuihin (Cladocera) kuuluva *Chydorus sphaericus*, jotka ilmentävät rehevyyttä. Vähäravinteisuuden ilmentäjälajeja Saunajärven eläinplanktonnäytteissä ei kesällä 2002 esiintynyt. Etenkin keskikesällä pienikokoiset vesikirppulajit olivat Saunajärven eläinplanktonissa vallitsevia. 63,3 % eläinplanktereiden kokonaismäärästä oli tällöin kooltaan alle 0,2 mm pituisia. Melko runsaana



Kuva 12. Kasviplanktonin a-klorofylli veden kokonaisfosforipitoisuuden funktiona Saunajärvessä heinä-syyskuun pitoisuuksien perusteella vuosina 1993, 1999 ja 2000, 2002 ja 2003. Regressiosuorat kuvaavat muuttujien suhdetta planktoneläimistöltään (ja kalastoltaan) erilaisissa kerrostumattomissa järvissä (Mazumder 1994).

tavattiin pienikokoista *Daphnia cristata*. Tämä laji *Daphnia*-sukuisista vesikirpuista jää viimeisenä jäljelle, kun järven runsas kalakanta käyttää eläinplanktonia tehokkaasti ravinnokseen (Viitamäki 2002). Kuvasta 12 kuitenkin havaitaan tehokalastuksella olleen ainakin seurannan alkuvaiheessa toivotun suuntainen vaikutus eläinplanktereiden kokojakauman kehitykseen.

Saunajärven kasvillisuuden lajikoostumusta ja runsautta selvitettiin kesällä 2002. Kasvillisuuskartoitus tapahtui yleispiirteisenä alue- ja linjakartoituksena. Aluekartoituksessa järven rannat jaettiin kymmeneen vyöhykkeeseen (300-700 m), jotka käytiin soutamalla läpi. Vyöhykkeillä esiintyneet kasvilajit määritettiin laji- tai sukutasolle. Lisäksi arvioitiin valtalajien prosentuaalinen peittävyys ja kasvustojen keskimääräiset leveydet rantaviivasta mitattuna. Linjakartoituksessa järven eri puolilta valittiin satunnaisesti kuusi rantaviivaan nähden kohtisuoraa linjaa, joista kasvilajit määritettiin ja runsaus arvioitiin yhden metrin välein asetetuilta 0,25 m²:n ruuduilta. Linjaa jatkettiin niin pitkälle kuin kasvillisuutta esiintyi (Oinas & Väisänen 2002).

Kasvillisuuskartoituksen tulokset osittain tukivat havaintoja järven rehevyydestä. Järvellä havaittiin 22 putkilokasvilajia ja yksi vesisammallaji. Yleisimmiksi kasvilajeiksi arvioitiin järvikorte ja ulpukka. Rehevimmät kasvustot Saunajärvellä tavattiin tulo-oijen ja lähtöojan suulla. Kasvillisuudeltaan karuimpia olivat järven koillis- ja lounaisosien hiekkapohjaiset rannat, joilla kasvoi mm. nuottaruohoa ja lahnaruohoa muun kasvillisuuden ollessa niukkaa. Rannan tuntumasta ulappaa kohti siirryttäessä havaitut kasvilajistolliset muutokset olivat vähäisiä. Tuloksiin vaikuttivat mökkirannoilla paikoin harjoitettu kasvillisuuden niittäminen (Oinas & Väisänen 2002).

Ilman Saunajärven loma-asukkaiden jo yli kymmenen vuotta kestänyttä hoitokalastustyötä ja panostusta järven tilan parantamiseksi järven tila olisi epäilemättä huomattavasti heikompi kuin mitä se tällä hetkellä on. Tutkimustulosten perusteella näyttää siltä, että järven rehevyystaso ei hoitokalastuksesta johtuen ole päässyt liian korkeaksi. Siuruanjoki kuntoon –hankkeen rahoituksella tehdyt tehokalastustoimet näyttävät parantaneen järven tilaa vuosien 1993-2003 analyysitulosten perusteella (Vähänen ym. 2004). Valitettavasti tehokalastus epäonnistui vuonna 2004 poikkeavien sääolosuhteiden takia. Tehokalastusta onkin jatkettava vielä vuonna 2005, jotta kunnostuksella saavutetaan haluttu lopputulos.

Siikalammen kunnostustutkimukset

3.1 Johdanto

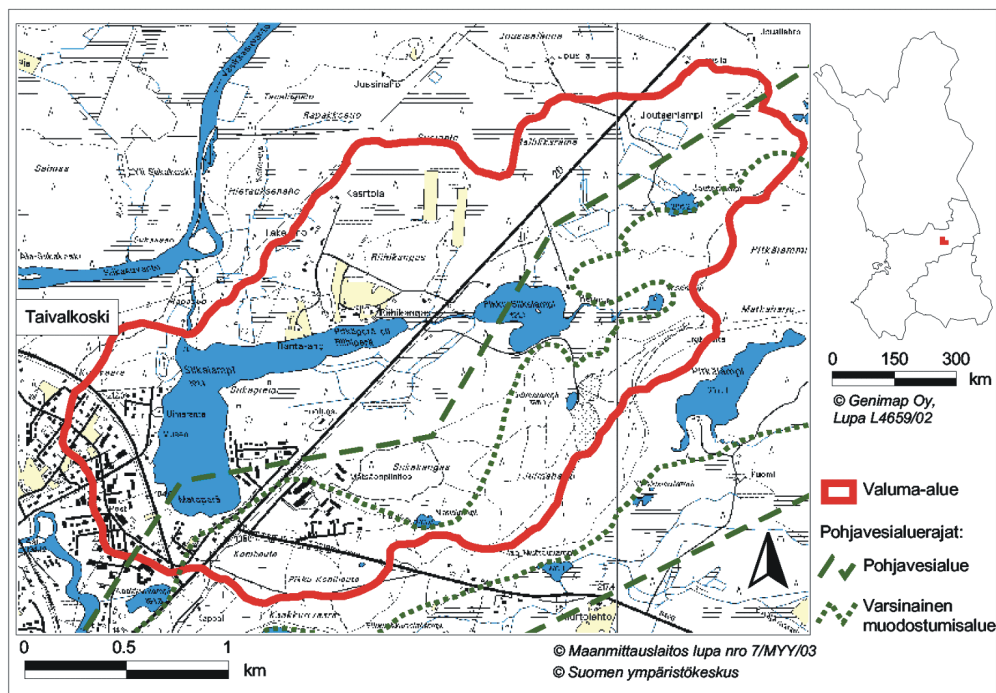
Siikalammen tilasta huolestuneiden paikallisten asukkaiden aloitteesta Taivalkosken kunta teki aloitteen Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskukselle järven kunnostamiseksi. Järven tilaa selvitettiin vuonna 2001 Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen ja Taivalkosken kunnan yhteistyönä. Tutkimuksen taustalla oli Siikalammen tilan ja käyttökelpoisuuden heikentyminen ja virkistyskäyttöhaittaa aiheuttaneet sinileväkukinnat, joita on esiintynyt 1990-luvun alusta lähtien. Viime vuosina ilmiö on ollut jokakesäinen ongelma. Myös kalaston rakenne järvessä on muodostunut särkivaltaiseksi. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Siikalammen tila ja kuormitushistoria järven kunnostussuunnittelua varten. Järven kunnostus katsottiin aiheelliseksi veden laadun ja virkistyskäyttöarvon parantamiseksi.

Aihetta lähestyttiin kokoamalla olemassa olevat taustatiedot järvestä, selvittämällä valuma-alueen maankäyttömuodot ja kuormittavat tekijät, analysoimalla vedenlaatuaineistoa sekä kartoittamalla järven kasvillisuus ja pohjasedimentin tila. Järven kuormitushistoriaa ja syitä nykyiseen tilaan arvioitiin myös järven pohjasedimentistä tehtyjen piilevätutkimusten avulla. Seuraavassa esitetään tiivistetysti Siikalammella tehdyt tutkimukset ja suositukset järven tilan parantamiseksi sekä lyhyt katsaus kunnostussuunnittelun jälkeisiin toimenpiteisiin. Kuusela (2002a) on käsitellyt järven tilan tutkimusaineistoa, -menetelmiä ja -tuloksia tarkemmin.

3.2 Siikalammen valuma-alue ja hydrologia

Siikalampi kuuluu Kostonjoen suualueen vesistöalueeseen ja sijaitsee Koillismaalla, Taivalkosken kunnassa (kuva 13). Valuma-alueen pinta-ala on noin 5,31 km². Itse Siikalampi on pinta-alaltaan noin 0,38 km². Järven arvioitu vesitilavuus on noin 1,6 milj.m³ ja keskiyvyys noin 4,3 m. Siikalammen syvyys- ja tilavuustiedot perustuvat heinäkuussa 2001 Siikalammen ranta-asukkaiden tekemään kartoitukseen, jolloin vedenkorkeus oli $N_{60} + 191,27$ m. Kesä-lokakuussa 2001 vedenkorkeus Siikalammessa ei vaihdellut edellä mainitusta korkeudesta lainkaan. Edelliseen kesaan verrattuna veden korkeus oli kuitenkin alentunut useita senttimetrejä, mihin on vaikuttanut mm. pienempi sademäärä sekä alapuolisen Kostonjoen veden korkeuden vaihtelu. Toukokuussa 2001 Siikalammen luusuasta ruopattiin kasvillisuutta ja hiekkapohjan päälle kertynyttä lietettä arviolta 50 m³. Ruoppaus alensi veden korkeutta järvessä 4-5 cm (Pekkala 2001; Selin 2001). Keskimääräinen vuosisadanta jaksolla 1991-1999 on ollut Taivalkosken kirkonkylän ilmastoaseman havaintojen mukaan 682,2 mm (Ilmatieteen laitos 1991, 1993, 1994a, 1994b, 1995, 1996, 1997, 1999a, 1999b, 2000).

Järven itäpäähän vetensä laskee Väliojan kautta Pikku-Siikalampi, jonka pinta-ala on noin 10 ha. Siikalammen vedet laskevat järven luoteiskulmasta lähtevää Salmiojaa (Siikasalmia) pitkin Kostonjoen Siikasuvantoon. Enimmäkseen hiekkarantaisten Siikalammen eteläpäässä on lähteitä, joista järveen purkautuu pohjavettä. Osa Siikalammen valuma-alueesta on Pitkänlamminkaan pohjavesialuetta, jonka kokonaispinta-ala on 9,93 km². Itse pohjavesimuo-



Kuva 13. Siikalammen valuma-alue ja Pitkänlamminkankaan pohjavesialue.

dostuman pinta-ala on 5,13 km² ja antoisuus on 5500 m³/d. Pohjatasona muodostumalla on pääosin kallio, joka on muodostuman eteläpuolella yleensä korkeammalla kuin pohjoispuolella. Tämän johdosta pohjavettä purkautuu voimakkaammin muodostuman pohjoispuolelle, jossa Siikalampi sijaitsee (Oulun vesi- ja ympäristöpiiri 1994).

Kallioperä valuma-alueella on graniittigneissä (Perttunen 1984; Suomen kartasto 1992). Maaperä valuma-alueen pohjoisosassa on laakson täytettä tai muuta jäätikön ulkopuolelle syntyntä kerrostumaa, koilliskolkassa pohjamoorenia. Muu osa valuma-alueesta on harju-, delta-, reuna- ja saumamuodostumaa (Suomen kartasto 1992). Soranottoa on harjoitettu Siikalammen valuma-alueella Julmaharjussa 1960-luvulta lähtien (Ruokangas 2001). Valuma-alueen maankäyttö jakautuu taulukon 12 mukaisesti. Maankäytön nykytilannetta ja maankäytössä tapahtuneita muutoksia tarkasteltiin vuosina 1962 ja 1999 otetuilta digitaalisilta ilmakuvilta, joista maankäyttö luokiteltiin visuaalisen tulkinnan keinoin ER-Mapper ja ArcView -ohjelmistoissa kymmeneen luokkaan. Luokittelun pohjana käytettiin soveltuvien osien Suomen ympäristökeskuksen SLICES -projektissa laadittua, alueiden käytön luokitukseen tarkoitettua luokkajakoa (Mikkola ym. 1999).

Taulukko 12. Siikalammen valuma-alueen maankäyttö vuosina 1962 ja 1999. Marginaalinen ero valuma-alueen kokonaispinta-aloissa vuosina 1962 ja 1999 johtuu maankäyttöluokitusta tehtäessä tapahtuneista tarkkuuseroista ilmakuvioiden digitaalisessa käsittelyssä.

| Maankäyttöluokka | Vuosi 1962 | | Vuosi 1999 | |
|----------------------------------|----------------|-------|----------------|-------|
| | Pinta-ala (ha) | % | Pinta-ala (ha) | % |
| Vesi | 52,1 | 9,8 | 51,6 | 9,7 |
| Pelto* | 59,5 | 11,2 | 14,4 | 2,7 |
| Vähäpuustoinen alue kangasmaalla | 17,8 | 3,4 | 29,2 | 5,5 |
| Vähäpuustoinen alue turvemaalla | 26,2 | 4,9 | 20,5 | 3,9 |
| Avosuo | 12,5 | 2,4 | 8,8 | 1,7 |
| Metsämaa | 291,5 | 54,8 | 305,6 | 57,5 |
| Siemenpuumetsä | 20,9 | 3,9 | 15,3 | 3,0 |
| Muokattu metsämaa/ hakkuualue | 14,1 | 2,7 | 7,9 | 1,5 |
| Taajamat, talot, tiet | 34,7 | 6,5 | 72,9 | 13,7 |
| Soranottoalue | 2,5 | 0,5 | 4,9 | 0,9 |
| Yhteensä | 531,8 | 100,0 | 531,1 | 100,0 |

*vuoden 1999 maankäyttöluokituksessa käytöstä poistuneet avoimet pellot, nurmet, niityt

Siikalampi sijaitsee Taivalkosken kirkonkylän välittömässä läheisyydessä, joten taajaman viemäriverkoston kehittyminen on ollut merkittävä tekijä järven kuormituksen vähenemisen kannalta. Viemäriverkoston rakentaminen kirkonkylän keskustaan on aloitettu vuonna 1959 ja sitä on laajennettu asteittain 1990-luvun alkupuolelle saakka. Viemäriverkoston laajenemisen myötä asutuksen jätevesien järveä kuormittava vaikutus on vähentynyt (Siikaluoma 2001).

Järven länsipuolella, Taivalkosken kirkonkylän keskustassa sijaitsevan jäteveden pumpppaamon viemäriä on talvella 1966 havaittu halkeama, jonka vuoksi suurin osa pumpppaamon jätevesistä on tuolloin päätynyt Siikalampeen menevään ojaan. Seuraavana kesänä Siikalammen ranta-asukkaat ovatkin havainneet jätevesien aiheuttaneen järveden likaantumista (Taivalkosken Vesijohto- ja viemäri- osuuskunta 1966, 1967a, 1967b, 1967c). Siikalammen etelärantaan vuosina 1972-1973 rakennetun jäteveden pumpppaamon toiminnassa puolestaan on esiintynyt 1970-luvun aikana sähkövioista johtuneita toimintahäiriöitä, joiden vuoksi jätevesiä on ajoittain päätynyt ylivuotona Siikalampeen (Ronkainen 2001; Ruokangas 2001).

Siikalammen valuma-alueella edelleen viemäriverkoston ulkopuolella olevia kiinteistöjä on yhteensä 17 ja ne sijaitsevat järven pohjois- ja itäpuolella. Näiden kiinteistöjen jätevedet käsitellään kiinteistökohtaisesti yleensä 2-osaisten saostuskaivojen ja maahan imeytyksen avulla. Joillakin kiinteistöillä rakennuslupaehdot edellyttävät jätevesien keräämistä umpisäiliöön, joka tyhjennetään jätevedenpuhdistamolle. Lisäksi Siikalampeen päättyy taajama-alueen ja valtatie 20:n hulevesiä pintavaluntana (Ruokangas 2001; Siikaluoma 2001).

Maatalous Siikalammen valuma-alueella on ollut aktiivisimmillaan ennen 1960-lukua. 1960-luvulle tultaessa maataloutta on harjoitettu enää muutamalla tilalla, jotka ovat lopettaneet toimintansa samalla vuosikymmenellä. Peltopinta-alan väheneminen onkin rakennetun alueen (taajamat, talot, tiet) kasvun ohella suurimpia Siikalammen valuma-alueen maankäytössä havaittavia muutoksia ajanjaksoilla 1962-1999 (taulukko 12). Nykyisin intensiivistä maataloutta ei valuma-alueella harjoiteta lainkaan. (Keränen 2001).

Siikalammen valuma-alueella viimeisten 10 vuoden aikaiset metsänhoidolliset toimenpiteet ovat melko vähäisiä. Uudistushakkuuta on suoritettu alle 40 ha alueella ja maan muokkausta alle 30 ha alueella (Paloniemi 2001). Lannoituksia

valuma-alueella ei ole Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen tietojen mukaan tehty. Metsäojia on kaivettu yhteensä alle 0,5 km. Näistä ojista vedet laskevat Siikalammen pintavalutuksen kautta (Alatalo 2001). Muita ojituksia valuma-alueella ei Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen metsäojarekisterin mukaan ole tehty. Turvetuotantoa alueella ei harjoiteta.

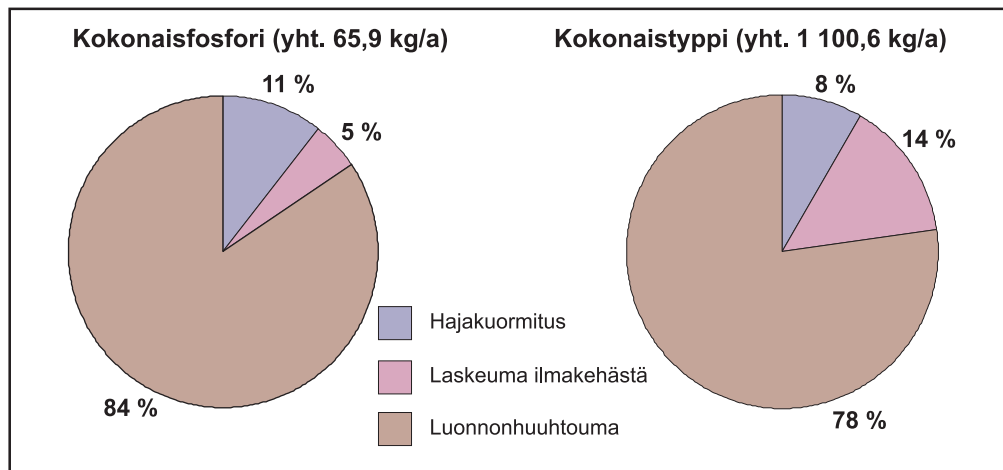
3.3 Siikalammen nykyinen kuormitus

3.3.1 Ulkoinen kuormitus ja luonnonhuuhtouma

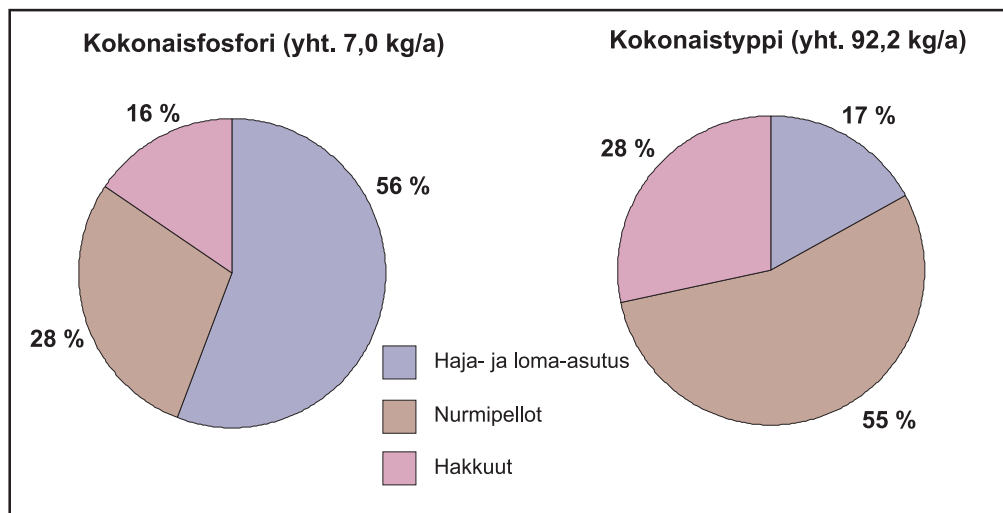
Siikalammen laskennallinen kokonaiskuormitus saatiin laskemalla yhteen arvioitu hajakuormitus, järveen ilmasta tuleva laskeuma ja arvioitu luonnonhuuhtouma. Luonnonhuuhtouma ei varsinaisesti ole kuormitustekijä vaan järven luontainen ravinteiden lähde. Luonnonhuuhtouma-arvojen arvioina käytettiin Saukkosen & Kortelaisen (1995) kuormituslukuja, jotka edustavat Pohjois-Suomen metsämaan potentiaalista vesistökuormitusta: kokonaisfosforin osalta 10,5 kg/km²/a ja kokonaistypen osalta 160 kg/km²/a. Laskeuma-arvoina käytettiin Kurvisen ja Jaurakkajärven havaintoasemien vuosien 1990-1997 vuosilaskeumien keskiarvoja (Järvinen & Vänni 1992a, 1992b, 1994a, 1994b, 1996, 1997, 1998; Vuorenmaa ym. 1998). Laskeuman arvioinnin perusteet ja muun hajakuormituksen laskennassa käytetyt ominaiskuormitusluvut on koottu liitteeseen 6.

Asutuksen aiheuttaman hajakuormituksen laskentaperusteena käytettiin asutuksen osalta Rontun & Santalan (1995) määrittelemiä haja-asutuksen ominaiskuormituslukuja. Loma-asutuksen kuormitus laskettiin Ähtävänjoen vesistöalueella tehdyn kuormitusselvityksen mukaisesti (Viitasaari 1990). Haja-asutuksen määräksi arvioitiin kaksi henkilöä yhtä asuinkiinteistöä kohti. Viemäriverkoston ulkopuolella olevia asuinkiinteistöjä valuma-alueella on 15. Loma-asuntoja on yksi ja lisäksi valuma-alueella on yksi tyhjillään oleva asuinrakennus.

Maatalouden kuormituslaskelmissa otettiin huomioon nurmiviljelyssä olevat pellot, joiden pinta-alat arvioitiin ilmakuvilta tehdyn maankäytön luokituksen ja maastokäyntien perusteella. Muuta maataloutta valuma-alueella ei harjoiteta. Pienillä valuma-alueilla tehdyissä tutkimuksissa peltoviljelyn on arvioitu aiheuttavan vesistöihin fosforikuormitusta 0,9-1,8 kg/ha/a ja typpekuormitusta 7,6-20 kg/ha/a. Ominaiskuormituslukuina nurmiviljelyn aiheuttamalle vesistökuormitukselle käytettiin Viikinkosken & Hynnisen (1995) ja Halosen & Heikkisen (1997) määrittelemiä lukuarvoja. Metsätalouden aiheuttama vesistökuormitus laskettiin Nurmestutkimuksessa (Ahtiainen & Huttunen 1995) saatujen ominaiskuormituslukujen kymmenen vuoden keskiarvojen ja valuma-alueella viimeisen kymmenen vuoden aikana suoritettujen metsätaloustoimenpiteiden pinta-alan mukaisesti. Eri kuormittajien ja luonnonhuuhtouman laskennalliset osuudet Siikalammen fosfori- ja typpekuormituksesta on koottu kuviin 14 ja 15.



Kuva 14. Siikalammen hajakuormituksen, laskeuman ja luonnonhuuhtouman jakauma fosforin ja typen osalta.



Kuva 15. Siikalammen hajakuormitus eriteltynä fosforin ja typen osalta.

3.3.2 Fosforitaseen ja sisäisen kuormituksen arviointi

Fosforin ainetaseen ja sisäisen kuormituksen arvioimisessa käytettiin alla olevaa Lappalaisen & Matinveden (1990) esittämää yhtälöä. Sisäisen kuormituksen tilannetta arvioitiin myös myöhemmin käsiteltävien sedimentin tilan tutkimusten yhteydessä.

$$SK = LP + BS + dP/dt - UK \quad (1)$$

missä

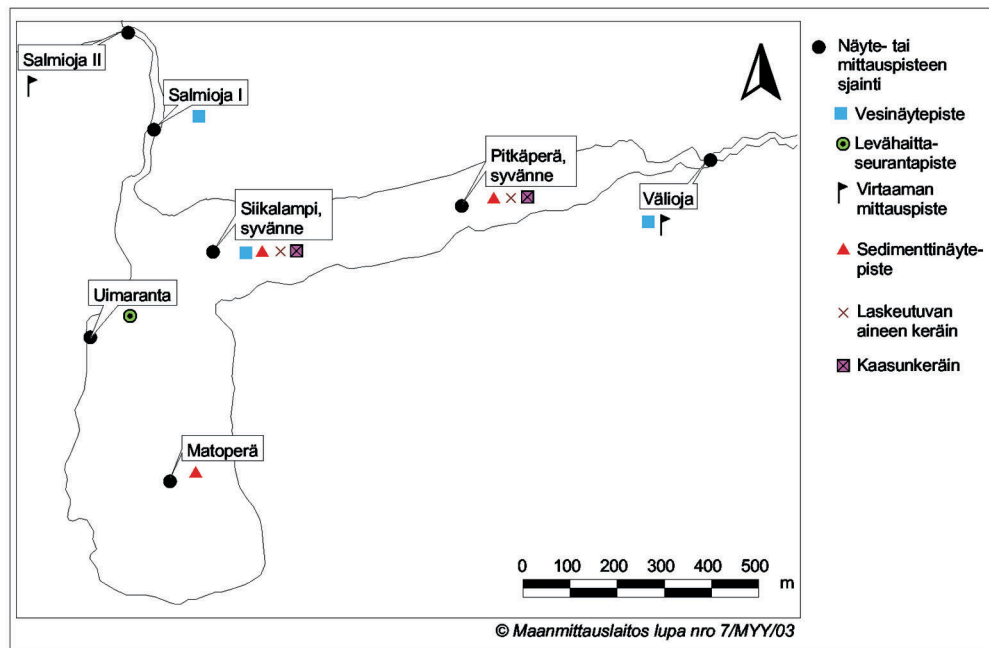
- SK = sisäinen kuormitus eli palautuminen pohjasta veteen
- LP = luusuasta ja kalansaaliissa yms. poistuva fosforivirtaama
- BS = bruttosedimentaatio kiintoaineen mukana pohjalle
- dP/dt = vesimassan fosforivaraston muutos
- UK = järveen tuleva ulkoinen kuormitus sisältäen luonnonhuuhtouman

Siikalammen tulo- ja lähtöomien veden kokonaisfosforipitoisuus laskettiin touko-lokakuun 2001 keskivirtaaman ja keskimääraisten ravinnepitoisuuksien tulona. Siikalammen laskevan Väliojan vesi oli touko-lokakuussa hyvin happipitoista ja melko vähäravinteista. Happipitoisuus Siikalammesta lähtevässä Salmiojassa oli myös hyvä, mutta ravinnepitoisuudet olivat suuremmat kuin tulouomassa (liite 7). Avovesikaudella 2001 Siikalammen tuli Väliojasta keskimäärin 0,089 kg fosforia vuorokaudessa. Salmiojasta vastaavasti lähti keskimäärin 0,180 kg fosforia vuorokaudessa alapuoliseen Kostonjokeen. Kuormituslaskelmien mukainen vuotuinen ulkoinen fosforikuormitus Siikalammen on noin 65,9 kg (UK). Järveen purkautuvan pohjaveden mukana tulevien ravinteiden määrää ei ole arvioitu ja koska virtaamia ja vedenlaatua tulo- ja lähtöuomissa ei talvikuukausien aikana ole seurattu, vuosiainetaseita ei nykyisillä tiedoilla voida luotettavasti arvioida. Pelkästään avovesikauden (165 d) ulosvirtaava fosforimäärä on noin 30 kg ja kalansaaliiden keskiarvon ja Lappalaisen (1990b) mukaan laskettuna vuotuinen kalansaaliissa poistuva fosforimäärä on noin 9,8 kg (yht. LP). Avovesikauden fosforin tulovirtaama, noin 14,7 kg, on puolet pienempi kuin vastaava ulosvirtaus, mikä viittaa Siikalammen sisäkuormitteisuuteen. Sisäinen kuormitus ei kuitenkaan selkeästi heijastu Siikalammen yleiseen veden laatuun (liite 8), vaan fosfori on todennäköisesti sitoutunut ylivuotisesti mm. runsaisiin vesiruttokasvustoihin. Fosforitaselaskelman tekeminen vaatisikin vesiruttokasvustoihin sitoutuneen fosforin tarkemman huomioimisen vesimassan fosforisisällön muutoksessa (dP/dt).

Bruttosedimentaatiota eli kiintoaineen mukana pohjaan laskeutuvan aineen määrää mitattiin laskeutuvan aineen keräimien avulla. Bruttosedimentaatio (BS) kahden mittauspisteen keskiarvoista laskettuna kesä-syyskuun aikana oli 2,8 g/m²/vrk kuiva-ainetta, mikä on pieni lukuarvo verrattuna esimerkiksi rehevöityneiden Ranuanjärven (28 g/m²/vrk) ja Luiminkajärven (9,2 g/m²/vrk) bruttosedimentaatioonopeuksiin (Puro ym. 1999). Tulokseen vaikuttavaa planktonin määrää keräinten sisällä pyrittiin rajoittamaan sijoittamalla keräimet arvioidun tuottavan kerroksen alapuolelle. Laskeutuvan fosforin määrä mittaustuloksista laskettuna oli noin 5,0 mg/m²/vrk. Mittausjaksolla (107 vrk) fosforin bruttosedimentaatio on tämän mukaan ollut syväannealueilla noin 19 kg. Laskeutuvasta aineksesta keskimäärin kolmannes oli orgaanista ainetta. Siikalammen sedimentin ajoituksesta (ks. kpl 3.6.3) saadun pitkän aikavälin nettosedimentaation mukaan laskettuna fosforin nettosedimentaatio on vuodessa noin 520 mg/m² syväannealueilla, eli noin 19 kg vuodessa.

3.4 Siikalammen veden laatu

Tietoja Siikalammen veden fysikaalis-kemiallista laadusta on Ympäristöhallinnon vedenlaaturekisterissä vuodesta 1967 alkaen. Vuodesta 1998 alkaen järvestä on otettu vesinäytteitä vuosittain, touko-lokakuussa 2001 kerran kuukaudessa. Vesinäyteenpisteet samoin kuin muut Siikalammen näyte- ja mittauspisteet näkyvät kuvassa 16. Keskisyvänteellä näytteenotto- syvyydet olivat 0-2 m (kokoomanäyte), 1 m, 5 m ja 8 m. Siikalammen keskisyvänteen vedenlaatatuloksia on koottu liitteeseen 8. Lämpötilan ja happipitoisuuden osalta tuloksia on koottu myös liitteeseen 9.



Kuva 16. Näytteenottopisteet, mittauspaikat ja mittalaitteiden sijainti Siikalammella.

3.4.1 Lämpötilakerrostuneisuus ja happipitoisuus

Järven kohtalaisesta syvyydestä (keskisyv. 4,3 m) johtuen vesi on kevät- ja syystäyskiertojen väliset ajat kerrostunut lämpötilan mukaan. Kevättäyskierto vesimassassa tapahtuu toukokuun aikana ja syystäyskierto syys-lokakuun aikana. Hapen kyllästysaste Siikalammessa on viime vuosina ollut heinä-elokuussa päällysvedessä 90-103 %. Pohjan läheisissä vesikerroksissa (6-9 m) on keskikesälläkin esiintynyt hapen vajausta ja hapettomuutta. Pohjan läheisen veden happipitoisuus on viime vuosina heinä-elokuussa ollut 0-5,8 mg/l ja hapen kyllästysaste 0-54 % (liite 9). Kevättalvella hapen kyllästysaste on Siikalammen pintavedessä ollut noin 60-70 %. Pohjan läheisissä vesikerroksissa (6-9 m) happea on kevättalvisin ollut 0-8 % kyllästysarvosta ja happipitoisuus on ollut 0-1,1 mg/l (liite 9). Etenkin loppukesän happivajeet ilmentävät rehevöitymistä. Täysikiertojen aikaan saama happitäydennys ei riitä ylläpitämään hyvää happipitoisuutta koko vesimassassa ympäri vuoden.

3.4.2 Veden väri, COD_{Mn} -arvo, näkösyvyys ja sameus

Siikalampi on melko kirkasvetinen järvi. Pintaveden väriarvot avovesikaudella ovat olleet 10-40 Pt mg/l. Talvella väriluku pintavedessä on ollut 5-15 Pt mg/l. Pääosin Siikalammen veden voidaan sanoa olevan väritöntä. Kemiallisen hapenkulutuksen (COD_{Mn}) arvojen mukaan vesi on myös varsin vähähumuksista sekä avovesikaudella että talvella. Kesällä kemiallinen hapenkulutus on orgaanisen aineksen suuremmasta määrästä (mm. kasvi- ja eläinplankton, vesikasvillisuus) johtuen hie- man suurempaa kuin talvella. COD_{Mn} -arvot ovat olleet kesällä 1,7-5,0 mg/l ja talvella 0,1-1,8 mg/l. Näkösyvyys avovesikaudella on ollut 2,1-4,7 m kasvaen yleensä loppusyksyä kohti leväkukintojen vähetessä. Veden sameus puolestaan on avovesikaudella ollut 0,57-2,1 FNU ja talvella vielä alhaisempi, 0,34-0,70 FNU, mikä myös kertoo veden olevan kirkasta.

3.4.3 Veden pH, alkaliniteetti ja sähkönjohtavuus

Veden pH-arvot ovat olleet Siikalammen pintavedessä avovesikaudella 6,4-7,9. Suurimmat arvot on mitattu kesä-heinäkuussa, jolloin pH on ollut toisinaan lähes 8 todennäköisimmin kasviplanktonin ja vesikasvien yhteyttämistoiminnan seurauksena. Yhteyttäminen kuluttaa veden hiilidioksidia ja bikarbonaattia (HCO_3^-), jonka vuoksi pH nousee (mm. Rørslett ym. 1986; Pohjois-Suomen vesitutkimustoimisto ym. 1992). Talvella vedessä tapahtuvan hajotustoiminnan tuottaessa hiilidioksidia ja kaasujen vaihdon estyessä jääpeitteen vuoksi pH on yleensä alhaisempi kuin kesällä (Pohjois-Suomen vesitutkimustoimisto ym. 1992; Puro ym. 1999). Siikalammella pH on talvella ollut keskimäärin 6,7.

Veden puskurikyvystä happamoitumista vastaan kertova alkaliniteetti eli happonsietokyky on pintavedessä avovesikaudella ollut tasolla 0,350-0,401 mmol/l ja talvella 0,393-0,460 mmol/l. Puskurikyky happamoitumista vastaan on hyvä, kun alkaliniteetti on yli 0,20 mmol/l, kuten Siikalammella (Pohjois-Suomen vesitutkimustoimisto ym. 1992).

Veden sähkönjohtavuuden arvot ovat kesäisin jonkin verran alhaisempia kuin talvella, jolloin veden vaihtuvuus on vähäistä ja aineita liukenee veteen järven pohjasta (Puro ym. 1999). Siikalammessa sähkönjohtavuus on pintavedessä kesäisin ollut 4,7-5,2 mS/m ja talvella 5,2-5,4 mS/m. Nämä luvut kuvastavat luonnontilaisen vesistön sähkönjohtavuusarvoja (Pohjois-Suomen vesitutkimustoimisto ym. 1992).

3.4.4 Ravinnetaso ja a-klorofylli

Siikalammen pintaveden kokonaisfosforin keskiarvo on avovesikaudella ollut 14 $\mu\text{g/l}$. Suurimmillaan pitoisuudet ovat keväällä ja alkukesällä. Loppukesää kohti veden kokonaisfosforipitoisuus yleensä alenee ravinteiden sitoutuessa vesikasvillisuuteen ja kasviplanktoniin. Talviaikaiset kokonaisfosforipitoisuudet ovat keskimäärin hieman alhaisempia kuin kesällä. Kokonaistypen keskiarvo avovesikaudella on 218 $\mu\text{g/l}$. Päätelmät rehevyydestä on ensisijaisesti tehtävä avovesikauden kokonaisfosfori- ja a-klorofyllipitoisuuksien perusteella, sillä fosfori on yleisimmin tuotantotason määräävä ravinne ja a-klorofylli kuvastaa muun muassa planktonlevästön tuotantotasoa (Pohjois-Suomen vesitutkimustoimisto ym. 1992). Talviaikaiset tyypipitoisuudet ovat keskimäärin alhaisemmat kuin kesällä, mutta toisaalta pintaveden kokonaistypen maksimipitoisuus on havaittu kevättalvella (570 $\mu\text{g/l}$), mikä johtunee hapettomissa olosuhteissa pohjasta liukenevasta ammoniumtypestä. Kasviplanktonin määrää kuvaava a-klorofyllipitoisuus on ollut Siikalammessa kesäisin 3,6-12,1 $\mu\text{g/l}$.

Kokonaisfosfori-, kokonaistyyppi-, ja a-klorofyllipitoisuuksien perusteella Siikalampi on rehevyydeltään lievästi rehevä (taulukko 13). Raja-arvojen mukaisissa luokituksissa on hieman vaihtelua. Veden kokonaistyyppipitoisuus on varsin alhainen ja ilmentää oligotrofiaa. Kokonaisfosforipitoisuus puolestaan on kohtalainen, Forsbergin & Rydingin (1980) luokituksen mukaan kuitenkin karulle järvelle tyypillinen. Näkösyvyyden perusteella Siikalampi voidaan luokitella lievästi reheviin eli mesotrofisiin ja kohtalaisen korkean a-klorofyllipitoisuuden perusteella reheviin eli eutrofisiin järviin.

Taulukko 13. a) Forsbergin & Rydingin (1980) sekä b) Naturvårdsverketin (1999) esittämät raja-arvot eri ravinteiden ja klorofylli-a:n ilmentämille rehevyys- ja pitoisuustasolle.

a) Forsberg & Ryding (1980) (avovesikauden pintaveden keskiarvot)

| Rehevyystaso | Kok-N | Kok-P | chl-a | Näkösyvyys |
|-----------------|----------|--------|-------|------------|
| | | (µg/l) | | (m) |
| Karu | < 400 | < 15 | < 3 | > 4,0 |
| Lievästi rehevä | 400-600 | 15-25 | 3-7 | 2,5-4,0 |
| Rehevä | 600-1500 | 25-100 | 7-40 | 1,0-2,5 |
| Ylirehevä | > 1500 | > 100 | > 40 | < 1,0 |

b) Naturvårdsverket (1999) (keskimääräinen pitoisuustaso touko-lokakuussa)

| Pitoisuustaso | Kok-N | Kok-P | chl-a |
|-----------------|-----------|---------|-------|
| | | (µg/l) | |
| Alhainen | ≤ 300 | ≤ 12,5 | ≤ 2 |
| Kohtalainen | 300-625 | 12,5-25 | 2-5 |
| Korkea | 625-1250 | 25-50 | 5-12 |
| Hyvin korkea | 1250-5000 | 50-100 | 12-25 |
| Erittäin korkea | > 5000 | > 100 | > 25 |

3.4.5 Yleistila ja leväesiintymät

Siikalammen veden laadullinen käyttökelpoisuus luokiteltiin Vesi- ja ympäristöhallituksen (1988) laatimien luokitusperusteiden mukaisesti, jotka soveltuvat parhaiten nimenomaan järvivesien käyttökelpoisuuden arvioimiseen. Siikalammen veden laadullinen yleisluokka sijoittuu hyvän ja tyydyttävän välille, tyydyttävään luokkaan painottuen. Tähän vaikuttavat mm. hieman kohonneet kokonaisfosfori- ja a-klorofyllipitoisuudet, ajoittain alhainen happipitoisuus, säännölliset sinileväkukinnat ja kalaston särkivaltaisuus. Hygieenisten laatuvaatimusten (bakteeripitoisuudet), veden värin, näkösyvyyden, sameuden ja kiintoainepitoisuuden osalta veden laatu on hyvä. Sinilevien ajoittaiset esiintymät saattavat kuitenkin heikentää veden uimakelpoisuutta.

Sinilevien (*Cyanophyceae*) aiheuttamaa leväsamennusta on Siikalammessa todettu Ympäristöhallinnon levähaittarekisterin mukaan ensimmäisen kerran kesällä 1991, jolloin tavattuja lajeja olivat *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena circinalis* ja *Anabaena planctonica*. Säännöllisen seurannan käynnistyttyä (v. 1998) Siikalammessa tavattuja *Anabaena* -suvun lajeja ovat olleet *A. flos-aquae* ja *A. lemmermannii*, joita on todettu järvessä runsaana tai havaittavana määränä lähes joka kesä vuodesta 1998 alkaen. Kesällä 2001 sinileväkukinta oli runsainta syyskuun puolivälin jälkeen.

3.5 Siikalammen kasvillisuus

Siikalammen makrofyttikasvillisuutta kartoitettiin kiertämällä järvi veneellä ympäri 16.7.2001 ja 26.7.2001. Kasvillisuuskartoituksen maastotöiden aikana vedenkorkeus Siikalammessa oli $N_{60} + 191,27-191,28$ m. Maastossa apuna käytettiin peruskarttalehden suurennosta (mittakaava noin 1:5000), ilmakuvan suurennosta (mittakaava noin 1:4000) sekä haraa ja vesikiikaria. Tavoitteena oli selvittää yleispiirteisesti tutkittavan järven makrofyttikasvillisuuden levinneisyys, laajuus ja lajikoostumus. Suurleviä ei kartoitettu. Välillinen tavoite oli saada tietoa järven ekologisesta tilasta sen kunnostusta ajatellen.

Siikalammella havaittiin 31 eri makrofyyttilajia sekä suvulleen määritettyjä saroja (*Carex* sp.) ja lahnaruohoja (*Isoëtes* sp.) (liite 10). Kasvumuodon mukaan (Toivonen 1984) lajiteltuina järveltä tavattiin kaikkien muiden kasvumuotojen lajeja paitsi irtokellujia. Järvellä tavattiin myös kaikkien vaateliaisuustasojen (Tyystjärvi-Muurosen 1985 mukaan) eli eutrofiaa, mesotrofiaa ja oligotrofiaa suosivia lajeja. Suurin osa lajistosta oli vaateliaisuustasoltaan indifferenttejä. Siikalammen yleisimmäksi arvioidut makrofyyttilajit olivat vesirutto (*Elodea canadensis*), ruskoärviä (*Myriophyllum alterniflorum*), ulpukka (*Nuphar lutea*), ahvenvita (*Potamogeton perfoliatus*) sekä rannoilla kasvavat sarat (*Carex* sp.). Vesirutto oli levinnyt lähes kaikkialle järven rantavyöhykkeellä. Runsaan nuottaruohokasvuston (*Lobelia dortmanna*) alueella järven luoteiskolkassa vesiruttoa ei juurikaan esiintynyt.

Tiheimmät makrofyyttikasvustot havaittiin pehmeäpohjaisten lahdelmien ja rantojen alueella, etenkin Väliojan suulla, jossa lajistossa oli runsaasti vesiruttoa sekä mm. ulpukkaa ja järvikuirisammalta (*Calliergon megalophyllum*). Salmiojaan (Siikasalmeen) avautuvassa järven luusuassa kasvillisuutta oli myös runsaasti. Lajisto oli vaateliaisuustasoltaan karumpaa kuin Väliojan suulla, kuten nuottaruohoa, lahnaruohoja ja ruskoärviää. Myös järvikortetta (*Equisetum fluviatile*) oli laskuojan suulla runsaasti.

Siikalammella esiintyi puhtaasti oligotrofista ympäristöä vaativia lajeja, jotka ovat herkkiä kasvu ympäristönsä muutoksille. Erityisesti nuottaruoho ja järvisätkin (*Ranunculus peltatus*) kertovat yleensä veden vähäravinteisuudesta. Myös Siikalammen lajiston runsaslukuisuus kertoo järven kohtalaisen hyvästä tilasta. Häiriintyneessä ekosysteemissä vallitsevat usein vain muutaman lajin kasvustot. Toisaalta rehevöitymisprosessin ollessa käynnissä lajiluku ensin runsastuu ja lajien määräsuhteet ovat suhteellisen tasapainoiset (Sojakka 2001). Vesikasvien ja rehevöitymisen suhdetta on kuitenkin vaikea arvioida yksiselitteisesti, sillä kasvien esiintymiseen vaikuttavat hyvin monet tekijät (Toivonen 1984).

3.5.1 Vesirutto

Vesirutto (*Elodea canadensis*) on ilmeisesti kohtalaisen uusi tulokas Siikalammessa. Järven kalastajat ja ranta-asukkaat ovat havainneet vesiruton runsaat kasvustot vasta viime vuosina. Ranta-asukkaat ovat myös toisinaan havainneet keväällä ja alkukesällä järven pinnalla kelluneita vesiruttolauttoja, joita Mäkisen & Koposen (1997) mukaan esiintyy, kun ylivuotista, osittain kuollutta vesiruttoa irtoaa järven pohjasta. Etenkin loivilla rannoilla kasvillisuus on paikoitellen levittäytynyt kauas rantavyöhykkeestä ja vesirutto aiheuttaa pohjanmyötäistä umpeenkasvua myös jyrkemmin syvenevillä rannoilla. Maastokäynneillä tehdyissä harauksissa tiheitä vesiruton kasvustoja tavattiin paikoin alle puolen metrin (0,3 m) syvyydestä järven ulapalle päin ainakin 2 metrin syvyyteen saakka. Vesiruttoa kasvaa mahdollisesti tätäkin syvemmillä pohjan alueilla, joten tarkkaa arviota koko kasvuston määrästä ei voitu ilman sukeltajan apua tehdä. Sedimentin ravinnevaraston suuruus ja ravinteiden liukeneminen veteen on todennäköisesti yhteydessä siihen, kuinka hyvin ja etenkin miten kauan vesirutto menestyy valtaamallaan järvellä. Vesiruttoa tavataan sekä karuissa että rehevissä järvissä, mutta karuissa olosuhteissa kasvustoja on havaittu vain 1-2 vuoden ajan, kun taas rehevissä järvissä vesirutto saattaa ylläpitää järven umpeenkasvua vuosikymmeniä (Rørslett 1977, Rørslettin ym. 1986 mukaan). Taulukkoon 14 on koottu vesiruton vaikutuksia järven ravinnekiertoon.

Taulukko 14. Massiivisten makrofyyttikasvustojen, kuten vesiruton (*Elodea canadensis*) mahdolliset vaikutukset järven ravinnekiertoon (Rørslett ym. 1986).

| Ravinnekiertoa lisäävät | Ravinnekiertoa vähentävät |
|--|--|
| Sisäinen P-kuormitus kasvustojen hajotuksesta, sedimentistä kasviin sidotut ravinteet vapautuvat | Vesiruton ja sen epifyyttien fosforin sidonta vedestä |
| Sedimentaation nopeutuminen kasvustoissa | Ravinteiden sidonta sedimentistä |
| Fosforin vapautuminen hapettomista kasvualustoista | Vesiruttosukupolvien välinen ravinteiden kierrätys |
| Fosforin vapautuminen sedimentistä johtuen kohonneesta pH:sta | Juuristovyöhykkeen sedimentin hapettuminen |
| | Kasvustojen vähentämä ravinteiden resuspensio sedimentistä |

3.6 Siikalammen sedimentin tila

Siikalammen sedimentin paksuus määritettiin 23.-24.7.2001 ranta-asukkaiden tekemässä kartoituksessa, jonka aikana vedenkorkeus oli $N_{60} + 191,27$ m. Sedimentin paksuus määritettiin, jotta voitiin arvioida sedimentin kokonaismäärä ja ruoppausmahdollisuudet. Sedimentin paksuus Siikalammen syvännealueilla on 3,1-6,5 m. Sedimentin paksuuskartoituksen ja oheistuloksena saadun järven yleispiirteisen syvyyskartoituksen tulokset näkyvät kuvassa 17. Sedimenttinäytteitä otettiin kolmesta eri pisteestä 25.7.2001 sekä 18.9.2001 (kuva 17). Osanäytteistä määritettiin taulukon 15 mukaiset suureet.

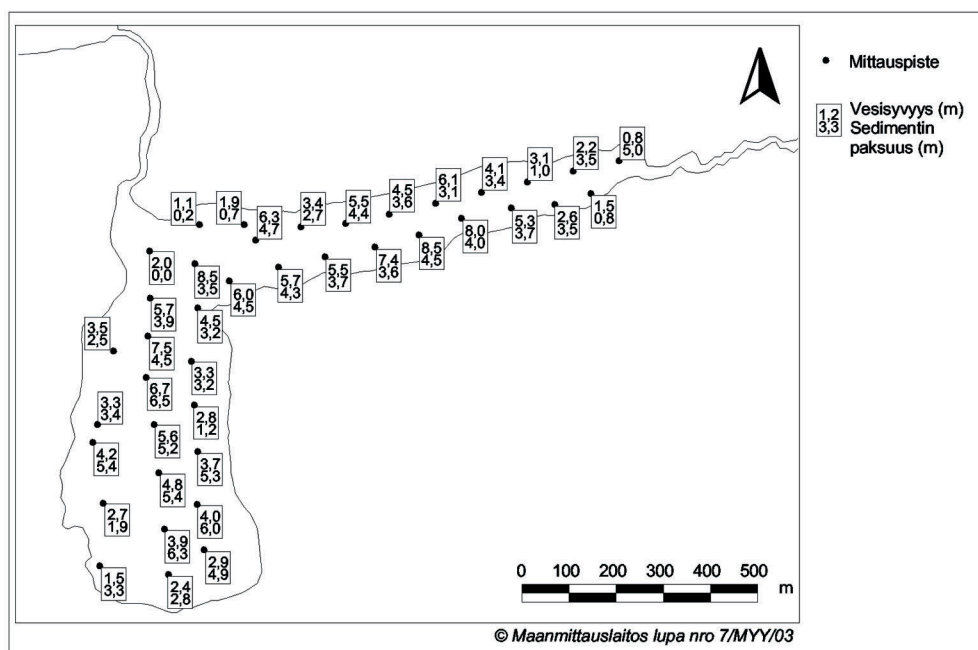
Itäosan Pitkäperän syvänteen ja järven keskisyvänteen alueilla sedimentti oli väriltään mustaa ja koostumukseltaan hyytelömäistä ja hyvin tahraavaa. Joidenkin näytteiden pinnassa oli pohjaeläinten kaivamia käytäviä. Sedimentti tuoksui selvästi rikkivedylle. Matoperällä, järven eteläosassa sedimentin pinta oli tummahkon ruskeaa. 5-26 cm syvyydessä sedimentti oli väriltään mustaa. Tämän alapuolella sedimentti muuttui savenruskeaksi ja oli tahmean savista. Matoperällä sedimentti tuoksui hyvin lievästi rikkivedylle.

3.6.1 Sedimentin ravinnepitoisuudet ja redox-potentiaali

Sedimentin kokonaisfosforipitoisuudet olivat 0,4-5,9 mg/g kuiva-ainetta ollen suurimmillaan sedimentin pintakerroksissa (kuva 18). Siikalammen keskisyvänteen ja Pitkäperän syvänteen pintasedimentin (0-10 cm) keskimääräinen fosforipitoisuus on 3,6 mg/g. Esimerkiksi mesotrofisen Etelä-Saimaan Haukiselän pintasedimentin fosforipitoisuus on 2,2 mg/g. Vastaava luku eutrofisella Vanajanselällä on 2,0 mg/g ja hypereutrofisella Tuusulanjärvellä 1,6 mg/g (Kansanen 1992). Järven rehevöityessä sedimentin pitoisuudet pienenevät pintasedimentissä, koska hapettomissa oloissa sedimenttiin sitoutunut fosfori muuttuu liukoiseksi ja vapautuu veteen fosfaattina (Lappalainen & Matinvesi 1990). Siikalammen pintasedimentistä on siis mainittujen vertailujärvien sedimentteihin nähden vapautunut toistaiseksi vähemmän fosforia. Tätä selittää kohtalaisen hyvä sedimentin happitilanne ja se, etteivät pohjaosien hapettomat jaksot Siikalammella ole jatkuvia tai laaja-alaisia. Suurimmat fosforipitoisuudet havaittiin Pitkäperällä ja keskisyvänteellä, mikä johtunee sedimentin kertymisestä kyseisille alueille sekä mahdollisesti myös viemäroimätömiä kiinteistöjen aiheuttamasta kuormituksesta. Sedimentin typpipitoisuudet olivat 8,5-17 mg/g kuiva-ainetta. Orgaanisen hiilen määrää kuvaava hehkutushäviö oli 21-39 %, ollen suurimmillaan sedimentin ylimmissä kerroksissa, Pitkäperällä 39 %, keskisyvänteellä ja Matoperällä 33 %.

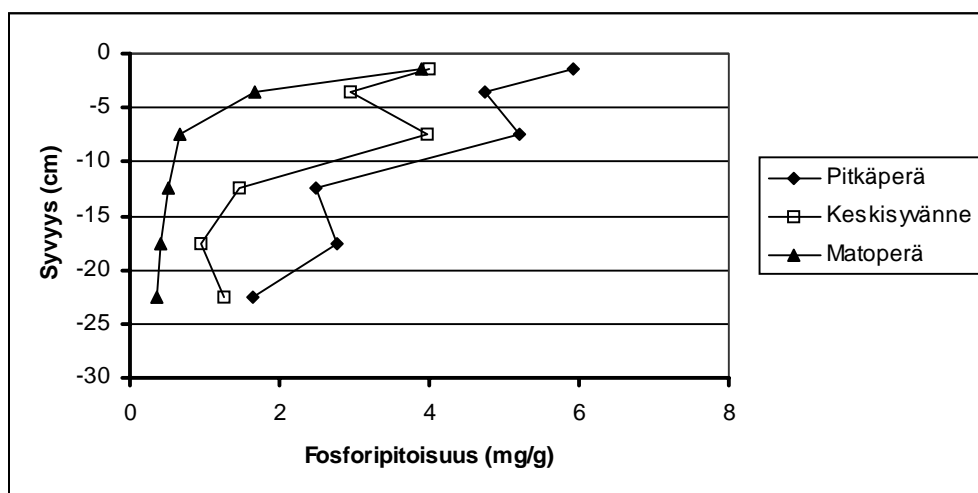
Taulukko 15. Siikalammen sedimentin osanäytteiden syvyydet (cm) sedimentin pinnasta lukien eri muuttujien analyyseissä.

| Kuiva-ainepitoisuus, org. aineksen pitoisuus, P- ja N-pitoisuus, redox-potentiaali | Huokosveden PO ₄ -P |
|---|--------------------------------------|
| 0-2 cm | + 1 cm (sedimentin yläpuolinen vesi) |
| 2-5 cm | 0-1 cm |
| 5-10 cm | 1-2 cm |
| 10-15 cm | 5-6 cm |
| 15-20 cm | 10-11 cm |
| 20-25 cm | |

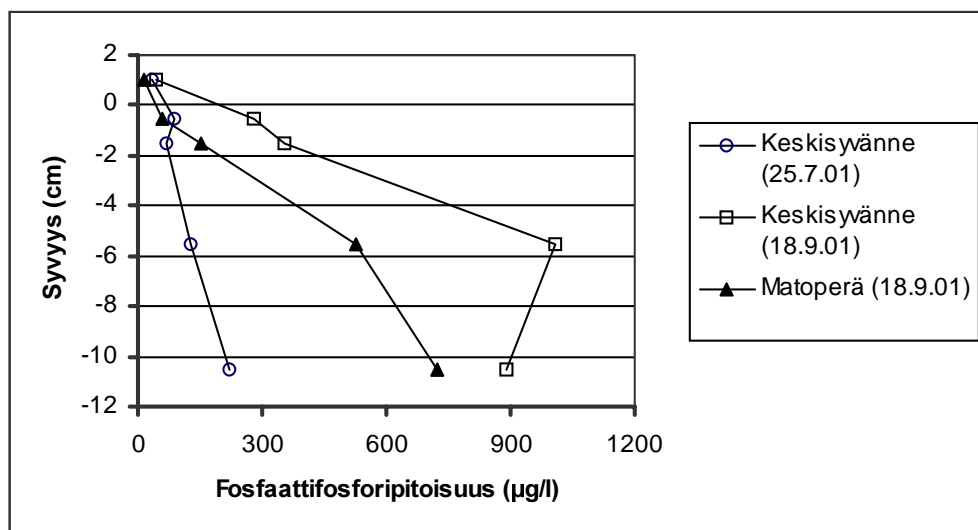


Kuva 17. Siikalammen vesisyvyydet ja sedimentin paksuus mittauspisteissä.

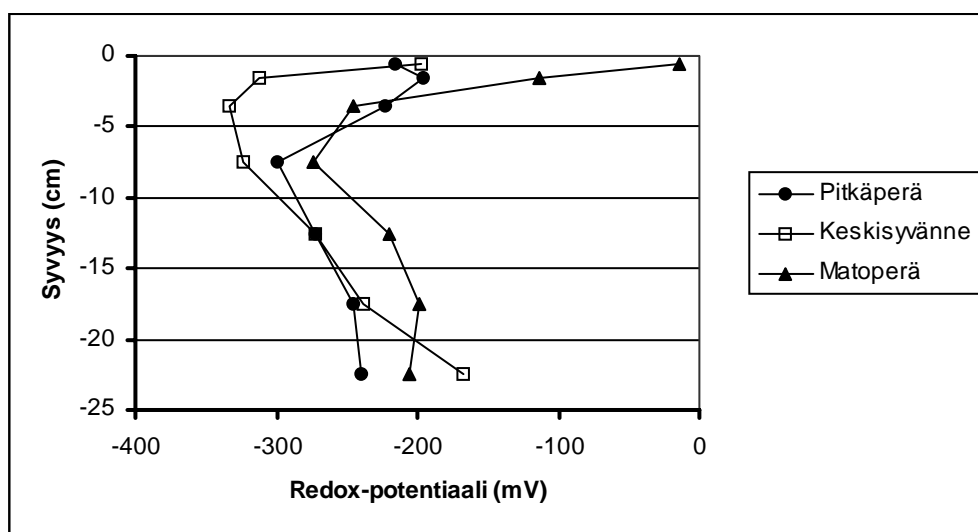
Siikalammen sedimentin huokosveden fosfaattifosforipitoisuus oli 13-1008 mg/l (kuva 19). Pienimmät pitoisuudet mitattiin sedimentin ylimmistä kerroksista, joista fosfaattifosfori liukenee yläpuoliseen vesimassaan. Heinäkuun lopusta alkaen sedimentin heikko happitilanne on ylläpitänyt fosforin vapautumista syyskuun loppuun saakka, jolloin syvänteen alusvesi on syystäyskierron yhteydessä hapetunut kesän kerrostuneisuuskauden jälkeen. Sedimentin redox-potentiaaliarvot heinäkuulta ilmentävät sedimentin pelkistävää tilaa (kuva 20). Olosuhteet sedimentissä ovat pelkistävät redox-potentiaaliarvon +200 mV alapuolella, jolloin ferriyhdisteet (Fe⁺⁺⁺) muuttuvat ferroyhdisteiksi (Fe⁺⁺) ja liukenevat veteen. Ferro-raudan mukana myös fosfori pääsee liukenemaan veteen (Särkkä 1996). Kaikilla näytealueilla sedimentin redox-potentiaali oli heti pintakerroksen alapuolella, noin 5-10 cm syvyydessä lähellä redox-potentiaaliarvoa -300 mV, jolloin sedimentissä alkaa muodostua myös metaania (Reddy & D'Angelo 1994, Vymazal ym. 1998 mukaan; Särkkä 1996). Tähän viittaa myös järvellä havaittu kaasukuplinta.



Kuva 18. Siikalammen sedimentin kokonaisfosforipitoisuudet kuiva-aineessa (mg/g).



Kuva 19. Siikalammen sedimentin huokosveden fosfaattifosforipitoisuus (µg/l).

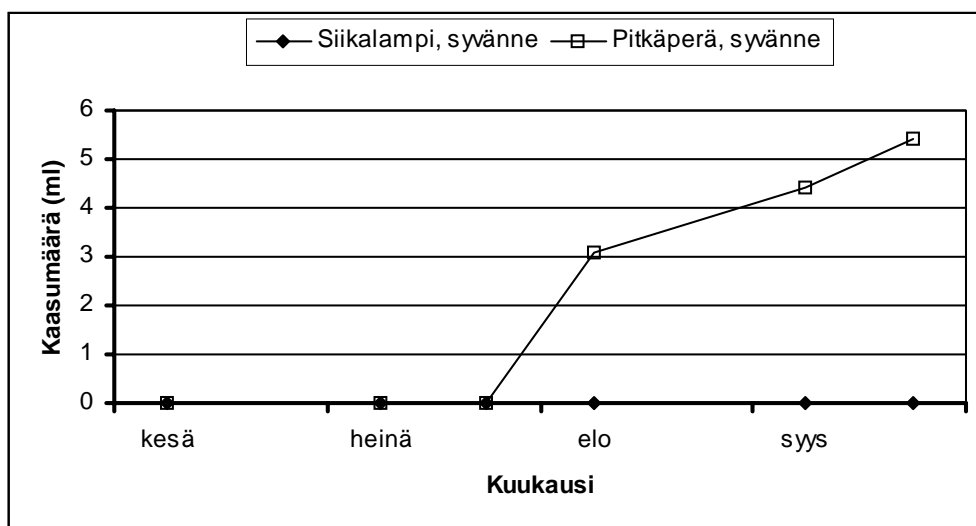


Kuva 20. Siikalammen sedimentin redox-potentiaaliarvot (mV) heinäkuussa 2001.

3.6.2 Sedimentin kaasuntuotto

Siikalammen rannat ovat yleisvaikutelmaltaan hiekkapohjaisia. Paikoin rannoilla on alueita, joissa orgaanista ainesta on sekoittunut hiekkaan ja pohja on tältä osin löyhtynyt. Sedimentin pintaa häiritäessä esiintyi runsasta kaasukuplintaa, jota tiheät vesiruttokasvustot pidättivät merkittävästi. Vapautuvien kaasujen haju oli rikkivetymäinen. Syvänealueilla sedimentistä kuplimalla vapautuvan kaasun määrää selvitettiin asentamalla järven keskisyvänteelle ja Pitkäperän syvänteelle (kuva 16) kaasunkeräimiä 12.6.2001. Kaasumäärän kertymistä seurattiin mittausjakson aikana 2-4 viikon välein. Keräimet poistettiin syvänteiltä 27.9.2001.

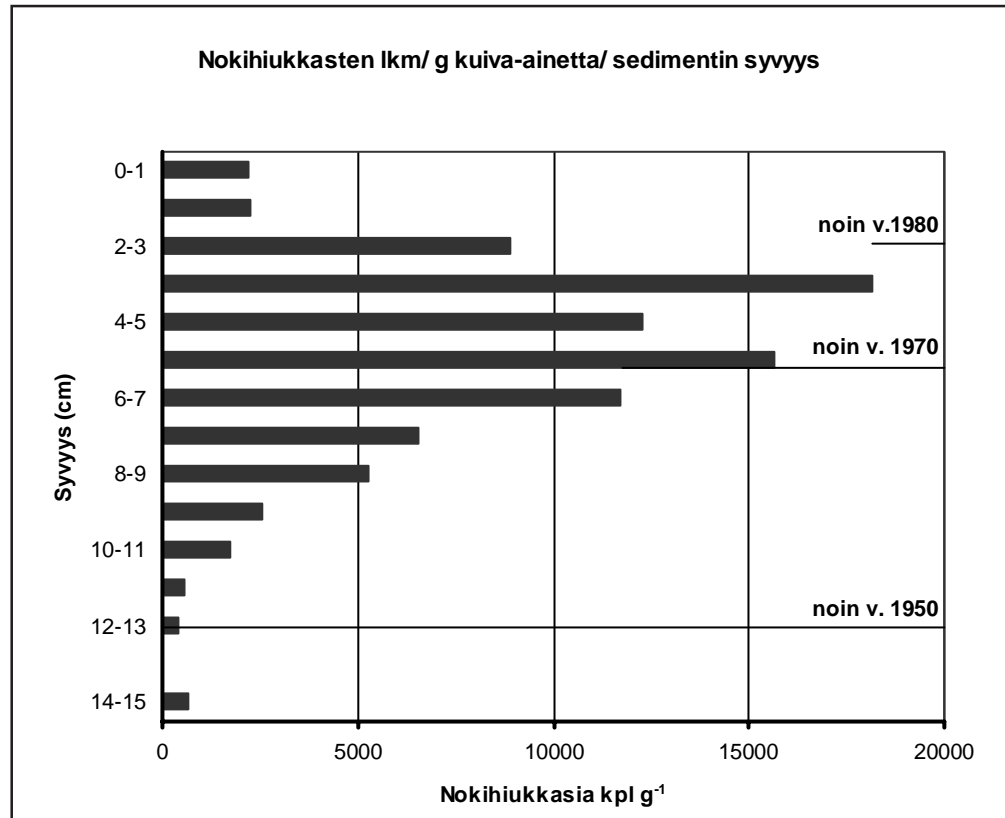
Tutkimusjaksolla Pitkäperän syvänteen sedimentistä vapautui kaasuja kuplimalla lähinnä loppukesästä (kuva 21). Siikalammen keskisyvänteellä (Siikalampi, syväne) ei havaittu kuplina vapautuvia kaasuja. Sedimentin hapetus-pelkistystilan mukaan (kuva 20) metaania todennäköisesti muodostuu kaikilla syvänealueilla, vaikka kaasua kertyi keräimiin jokseenkin vähäisiä määriä. Kaasuresuspensio ei kuitenkaan ole todennäköisin ravinteiden vapautumismekanismi sedimentistä yläpuoliseen veteen, sillä vedenlaatuaineiston perusteella runsain fosforin vapautuminen ajoittuu ajanjaksolle jolloin kaasuresuspensiota ei havaittu. Todennäköisempi ravinteiden vapautumismekanismi on diffuusio ja mahdolliset pohjavesivirtausten aiheuttamat konvektiovirtaukset, erityisesti Matoperän alueella.



Kuva 21. Sedimentistä kuplimalla vapautuvien kaasujen kertymä (rinnakkaisten keräimien keskiarvoista) kesällä 2001.

3.6.3 Sedimentin ajoitus

Siikalammen sedimentin ajoitus suoritettiin nokihiukkaskasmenetelmällä, jossa lasketaan fossiilisten polttoaineiden poltosta peräisin olevat nokihiukkasia (Renberg & Wik 1984). Ajoitustulos oli selväpiirteinen (kuva 22). Vuotuiseksi sedimentin paksuuden kasvuksi arvioitiin noin 2,4 mm. Nokihiukkasmäärät sedimentissä olivat suuria, enimmillään 18000 kpl grammassa kuiva-ainetta. Tämä on tyypillistä järville, joissa sedimentaatio on suhteellisen niukkaa. Suuret hiukkasmäärät ilmentävät yleensä jotain paikallista päästölähdettä, mutta hiukkaset voivat suotuisissa olosuhteissa kulkeutua vallitsevien ilmapvirtausten mukana kauempaakin (Renberg & Wik 1984; Hynynen 2001).



Kuva 22. Siikalammen sedimentin nokihiukkasaajoituksen tulokset (Hynynen 2001).

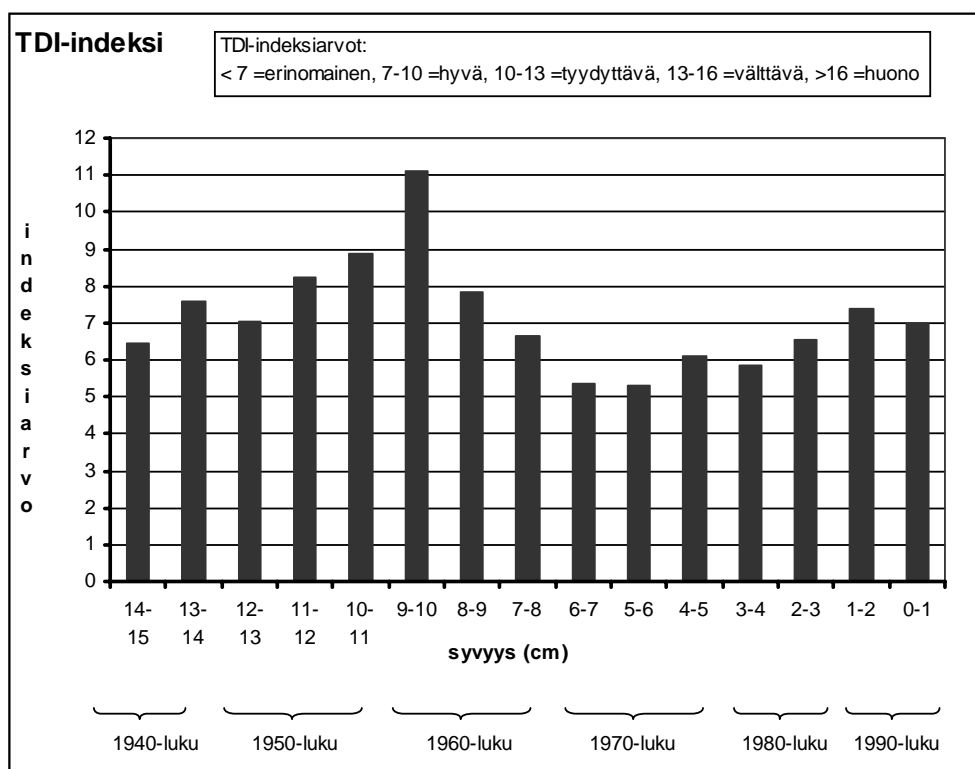
3.7 Piilevät Siikalammen veden laadun ilmentäjinä

Koko järvessä esiintyvän piilevälajiston paljastaa yleensä parhaiten syvänteestä otettu pintasedimenttinäyte (Simola 1984). Piilevälajiston määrittämistä varten Siikalammen syvänteen (kuva 16) pintasedimentistä otettiin näyte 25.7.2001. Sedimentin ajoitustulosten (kuva 22) perusteella piileväanalyysiin valittiin 1 cm:n välein otetut osanäytteet 15 cm:n syvyyteen saakka. Näytteille suoritettiin vetyperoksidi- ja lämpökäsittely, mineraaliaines poistettiin ja jäljelle jääneestä sakasta valmistettiin piileväpreparaatit käyttäen Naphrax-petaushartsia. Jokaiselta preparaattilta laskettiin mikroskopoimalla noin 500 piileväkuorta, jotka tunnistettiin mah-

dollisuuksien mukaan lajitasolle noudattaen Krammerin & Lange-Bertalotin (1991a, 1991b, 1997a, 1997b) nomenklatuuria (Soininen 2001). Aineisto analysoitiin Omnidia 2 -tietokannassa (versio 3.6) (Lecointe ym. 1993), joka laskee piilevälajiston perusteella erilaisia veden laatua kuvaavia indeksejä ja lajiston ekologisia luokituksia.

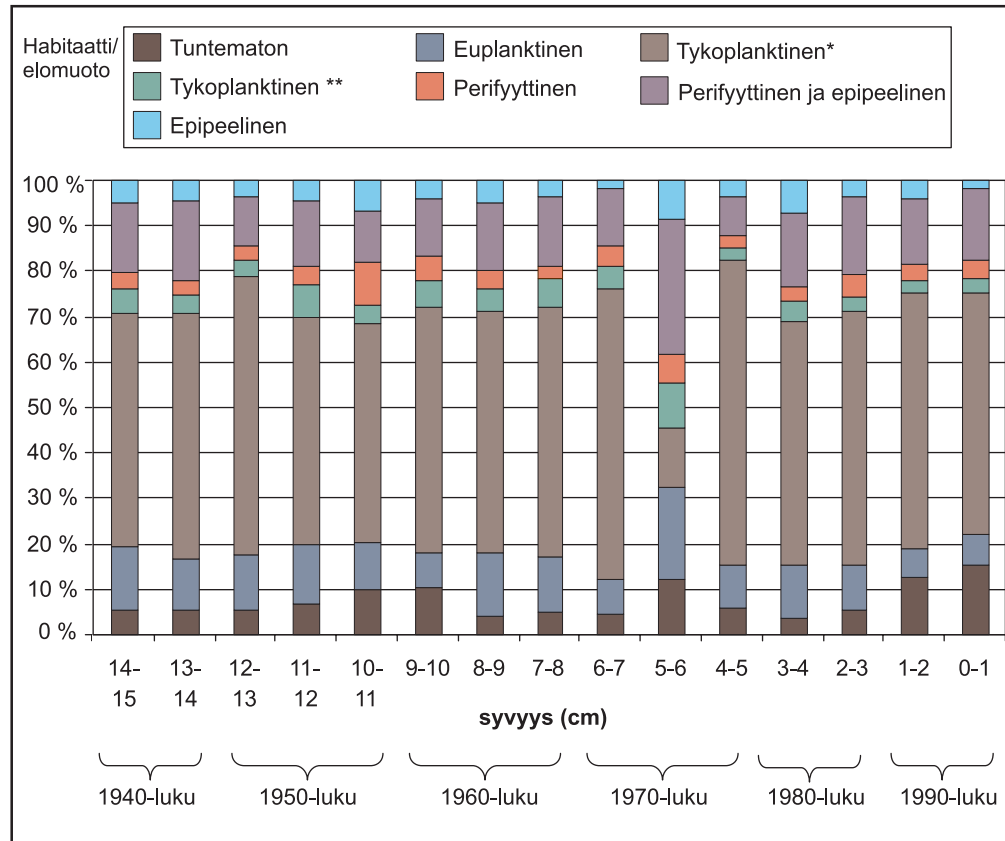
Piilevien avulla tehty veden laadun kehityksen tarkastelu koskee ajanjaksoa 1940-luvulta nykypäivään. Sedimenttiprofiilin piilevälajiston (liite 11) perusteella Siikalammen veden laadussa ei tarkastelujaksolla ole tapahtunut suuria muutoksia. Vesi on laskettujen indeksien ja piilevälajiston ekologisten jakaumien mukaan ollut ravinnetasoltaan meso-eutrofista eli lievästi rehevää jo pitkään, 1940-luvulta lähtien (liite 12). Piilevälajistosta lasketun Elorannan (1990) yhtälön perusteella veden pH-arvoissa ei ole tapahtunut muutoksia, vaan pH on ollut koko tarkastelujaksolla hieman yli 7. Jätevesiperäistä orgaanista kuormitusta kuvastavan IPS-indeksin (Pollution Sensitivity Index) arvojen mukaan vesi ollut hyvälaatuista koko tarkastelujaksolla (liite 12). Myös muut luokittelut ilmentävät pääasiassa tasaista veden laatua tarkastelujaksolla.

Joissakin luokitus- tai indeksiarvojen tuloksissa havaittiin pieniä muutoksia, jotka eivät kuitenkaan ole riittävän selkeitä yksiselitteisten johtopäätösten tekemiseen. Ravinnekuormitusta kuvaavan TDI-indeksin (Trophic Diatom Index) ilmentämä 1950- ja 1960-lukujen vaihteessa tapahtunut veden laadun väliaikainen heikentyminen tyydyttävälle tasolle (kuva 23) voi johtua oletettavasti tuohon aikaan aktiivisimmillaan olleesta maataloustoiminnasta järven valuma-alueella sekä luultavasti melko kehittymättömistä, tuona aikana yleisesti hyväksytyistä jätevesien käsittelytavoista. Viemäriverkoston rakentaminen aloitettiin Taivalkosken taajamassa vuonna 1959.



Kuva 23. Siikalammen sedimenttiprofiilin piilevälajistosta lasketut TDI-indeksi-arvot (Kelly & Whitton 1995).

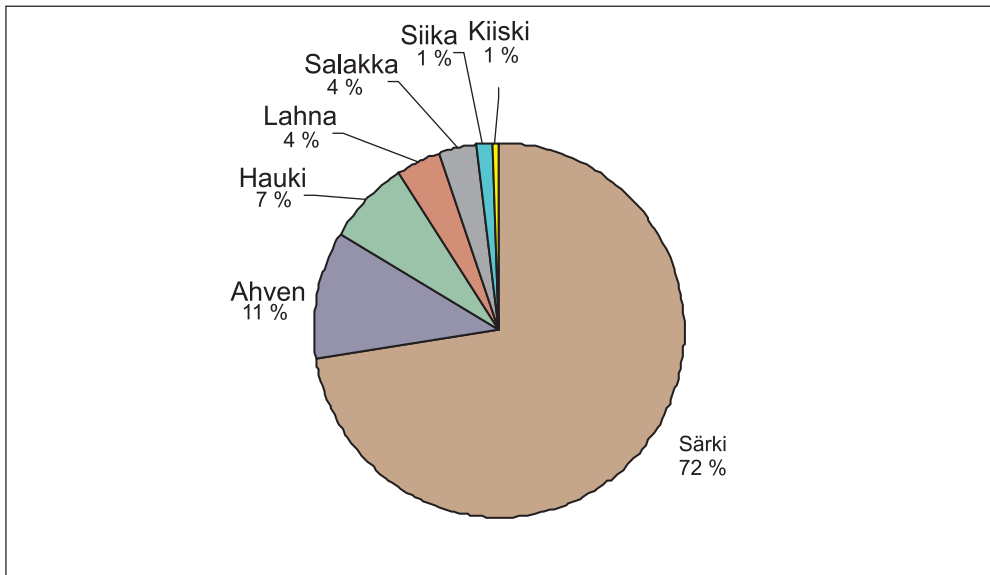
Elomuotojen (habitaattivaatimusten) mukaisessa luokituksessa piilevälajistossa havaitaan muutos 1970-luvun puolivälin kerrostumissa, joissa lähes kaikkien elomuotojen osuudet ovat kasvaneet (kuva 24). Tästä voitiin päätellä piilevien määrän kokonaisuudessaan runsastuneen, mihin voi olla syynä esimerkiksi 1970-luvulla tapahtuneet ravinteikkaiden ja paljon orgaanista ainesta sisältävien jätevesien päästöt jätevedenpumppaamon toimintahäiriöiden seurauksena.



Kuva 24. Siikalammen sedimentin piilevälajiston jakautuminen elomuoto-ryhmiin. Elomuoto-ryhmät: euplanktinen = varsinainen planktonlaji, tykoplanktinen* = alkuperä perifyyttinen, tykoplanktinen** = alkuperä perifyyttinen ja epipeelinen, perifyyttinen = kiinteillä alustoilla, perifyyttinen ja epipeelinen = kiinteillä alustoilla ja sedimentin pinnalla, epipeelinen = sedimentin pinnalla elävää lajistoa (Denys 1991).

3.8 Siikalammen kalastus ja kalaston tila

Siikalammen kalaston määrää, rakennetta ja lajikoostumusta arvioitiin Taivalkosken kalastuskunnan saalistietojen sekä aiemmin suoritettujen koenuottaustulosten perusteella. Uusia kalastollisia selvityksiä ei tämän tutkimuksen yhteydessä tehty. Siikalammella kalanpyynti on kotitarve- ja virkistyskalastusta sekä kalastuskunnan harjoittamaa roskakalaston poistoa. Ennen 1990-luvun alkupuolelta lähtien vähempiarvoista kalastoa on pyritty poistamaan kohtalaisen paljon muun muassa nuottaamalla (Jussila 2001). Vuosina 1991 ja 1992 Iijoen vesistön kalastusalueen suorittamien koenuottausten perusteella Siikalammen tärkeimpiä saaliskaloja ovat särki, ahven ja hauki (kuva 25) (Torssonen 2001).



Kuva 25. Siikalammen koenuottauksen yhteissaalis (1223 kg) kalalajikohtaisesti vuosina 1991-1992. Vetokerrat 20, keskimäärin 61,1 kg/vetokerta (Torssonen 2001).

Vuonna 1995 kalastuskunnan tekemissä nuottauksissa paras ahvensaalis nuotan kertavedolla on ollut 280 kg ja särkisaalis 150-160 kg. Lahnaa nuotattiin vuonna 1995 parhaimmillaan 800 kg kertavedolla. Paras vuosisaalis Siikalammella on ollut noin 3500 kg, 1990-luvun alussa. Vuoden 1998 jälkeen ei nuottausta järvellä ole harjoitettu vesiruton aiheuttaman nuotan tukkeutumisvaaran vuoksi (Jussila 2001).

3.9 Siikalammen kunnostustavoitteet ja suositukset

Järven kunnostusta suunniteltaessa on pyrittävä arvioimaan, millaiseen tilanteeseen kunnostustoimenpiteillä pyritään. Siikalammen tapauksessa tavoitteet koskevat ensisijassa virkistyskäyttöarvoja. Sinilevähaittojen vähentämiseksi on veden ravinnetasoa pyrittävä alentamaan. Tähän voidaan vaikuttaa minimoimalla vähäisetkin ulkoista kuormitusta aiheuttavat lähteet ja vähentämällä järven sisäistä kuormitusta. Sedimentin ravinteikas ja ravinteita vapauttava tila on Siikalammella sisäisen kuormituksen todennäköisin syy.

Kasvillisuuskartoituksessa havaitut vesiruton kasvustot olivat tiheitä ja laajalle levinneitä. Ranta-asukkaat ja paikallisen kalastuskunnan jäsenet totesivat vesiruton haittaavan virkistyskäyttöä ja ns. roskakalaston poistoa. Vesiruttokasvustoja on mahdollista vähentää jaksottaisesti, mutta ei pysyvästi. Kasvustojen poistolla niiden luontaisessa päätösvaiheessa voi olla ravinteiden kiertoa ja edelleen järven sisäistä kuormitusta vähentävä vaikutus. Sisäiseen kuormitukseen ja ravinnetason alenemiseen voidaan vaikuttaa myös särkivaltaisen kalaston tehopyynnillä. Kalaston särkivaltaisuus on sinänsä yksi kunnostustarvetta aiheuttavista tekijöistä, sillä vääristynyt kalaston rakenne voimistaa rehevöitymisongelmia. Virkistyskäytön kannalta myös Siikalammen rantojen yleissiisteyttä tulisi ongelmakohtissa parantaa.

Siikalammen kunnostuksella pyritään myönteisiin vaikutuksiin alueen asukkaiden elinympäristössä. Kunnostustoimien onnistuminen edellyttää, että järven ja valuma-alueen käyttäjätahot ja paikalliset asukkaat kokevat ne tarpeellisina ja ovat myös valmiita käyttämään voimavarojaan hankkeeseen. Tavoitteiden saavuttamiseksi Siikalammella on varauduttava myös kunnostuksen tuloksellisuuden seurantaan ja ylläpitoon jatkohoitotoimenpiteillä. Siikalammen vaihtoehtoisista kunnostusmenetelmistä koottu yhteenveto soveltuvuusarvioineen esitetään taulukossa 16. Seuraavassa esitellään Siikalammelle suositeltavia keinoja sinilevähaittojen vähentämiseen, rehevyytason alentamiseen ja kalaston rakenteen tervehdyttämiseen.

Taulukko 16. Siikalammen kunnostusmenetelmien vaihtoehtoja soveltuvuusarvioineen (* = ei sovellu, +/- = ei vaikutusta tai vaikutus epävarma, + = soveltuu melko hyvin, ++ = soveltuu hyvin).

| Kunnostusmenetelmä | Arvio | Etuja ja/tai haittoja |
|---|-------|---|
| Ruoppaus | — | sedimenttiä liikaa poistettavaksi myös pintasedimentin alla ravinnekerästä sedimenttiä kustannukset korkeat |
| Vesimassan fosforin saostus | — | fosfori on peräisin sedimentistä, ei poista ongelmaa lyhytaikainen (1-2 kesää) vaikutus |
| Kuivatusjäädytys | — | Siikalammen syvyyssuhteet estävät kuivatuksen pohjavesiä pulppua järveen |
| Vesipinnan nosto | +/- | ei juuri vaikutusta Siikalammen tilaan jos pintaa nostetaan (max 15-20 cm), perusteena muut syyt |
| Sedimentin pöyhintä | +/- | merkitys vähäinen, koska kaasuja pohjasta vapautuu melko vähän → kaasujen pohjasta nostamat hiukkas- ja ravinne määrät eivät suuria |
| Syvänteiden sedimentin stabilointi savella | +/- | vähentää fosforin vapautumista sedimentistä saven ohella lisättävä happea kemikaalia kiihtyvä kaasuntuotanto savipeiton alla → peittokerroksen pysyvyys epävarmaa |
| Syvänteiden sedimentin stabilointi kipsillä | +/- | vähentää fosforin vapautumista sedimentistä vähärikkistä kipsiä saatavilla vain Etelä-Suomessa → korkeat kuljetuskustannukset vaatii pohjan hapettamista, jottei muodostu rikkivetyä |
| Sedimentin kemikalointi ja ilmastus syvänteillä | + | vähentää fosforin vapautumista sedimentistä jatkuva ilmastus tarpeen → jatkuvat kustannukset |
| Lisävesien johtaminen | + | lisää veden vaihtuvuutta alentaa ravinnepitoisuutta ja sedimentoitumista lisäveden saatavuus hyvä kustannukset melko suuret |
| Kasvillisuuden raivausnuottoaus | ++ | poistaa ravinteita ja kasvimassaa kiertoalusta puhdistaa kalastusapajat ja rannat mahdollistaa tehokaluksen nuottaamalla voidaan toteuttaa talkoilla työläs, pitkäkestoinen veden laatu huononee hetkellisesti |
| Ravintoverkko-kunnostus | ++ | vähentää sisäistä kuormitusta hyötyy kasvillisuuden vähentämisestä voidaan toteuttaa talkoilla työläs, pitkäkestoinen |

3.9.1 Ulkoisen kuormituksen vähentäminen

Ulkoisen kuormituksen minimointi on järven kunnostuksen perusedellytys, joten vähäistenkin ulkoisten kuormittajien tilanne Siikalammella on selvitettävä. Nykyisin kiinteistökohtainen jätevesien käsittely on 15 asuinkiinteistöllä järven ympäristössä. Käsittelymenetelmien kunto ja tehokkuus on syytä tarkistaa ja tarvittaessa parantaa niitä. Todennäköisesti viemäröintimahdollisuutta kannattavampaa on selvittää kiinteistökohtaisten umpikaivojen asentamisen ja käytön kustannukset. Tällöin tarkasteltavaksi tulee ottaa etenkin umpikaivojen tyhjennystiheys ja se, onko kunnalla resursseja tukea jätevesien käsittelymenetelmien parantamista.

Järven rannan nurmipeltojen osalta suojakaistojen tarpeellisuus ja kunto tulee tarkistaa maastokäynneillä. Metsätalouden aiheuttaman hajakuormituksen osuus on tällä hetkellä melko pieni, mutta mikäli valuma-alueelle suunnitellaan uudis- tai kunnostusojituksia, avohakkuita tai laajojen alueiden maan muokkausta, on näiden vaikutukset Siikalammen kuormittajina huomioitava ja pyrittävä minimoimaan.

Taajama-alueelta valuvat hulevedet tuovat järveen kiintoainekuormitusta, jonka osuus ei ole suuri, mutta Siikalammen kokoon nähden ei myöskään merkityksetön. Tämä voidaan todeta mm. ojien edustojen pohjan liettymisestä. Suoraan järveen laskevat avo-ojat tulee tarkistaa ja mahdollisuuksien mukaan rakentaa ojiin lietekuoppia kiintoainekuormituksen vähentämiseksi. Toimiakseen tehokkaasti lietekuopat vaativat säännöllistä kunnossapitoa. Ranta-asukkaille tulisi tiedottaa hulevesien käsittelystä, sillä tontilta valuvia vesiä ei myöskään pitäisi johtaa järveen suoraan vaan pintavalutuksen kautta. Mikäli saunan pesuvesiä ei ole johdettu viemäriverkostoon tai sakokaivoon, ne tulee imeyttää maahan riittävän suojaetäisyyden päähän vesistöä.

3.9.2 Sisäisen kuormituksen vähentäminen

Runsaita vesiruttokasvustoja voidaan jaksoittaisesti poistaa, mikä samalla kuitenkin aiheuttaa pohjan pöllyämistä ja veden laadun hetkellistä huononemista. Kasvimassan sisältämiä ravinteita ja huomattavan määrän happea kuluttavaa biomassaa saadaan kuitenkin kasvillisuuden mukana poistettua kiertokulusta. Orgaanisen aineen sedimentaation ja hapenkulutuksen vähentäminen vaikuttaa edelleen myös pohjasedimentin tilaan ravinteiden vapauttajana. Riskinä on, että vesiruton poistosta aiheutuu fosforin kiihtyvää vapautumista aiemmin vesiruton sitomilta pohjilta, mikä voi johtaa hetkellisesti levätuotannon kasvuun. On toisaalta olemassa viitteitä siitä, että kun huomattava osa kasvimassasta poistetaan, myös leviemäärä vähenee, koska osa sisäisen kuormituksen lähteestä (hajoava kasviaines) on poistettu (Äystö 1997).

Raivausnuottausta on käytetty mm. Pohjois-Karjalan ympäristökeskuksen alueella turvetuotannon liettämien järvien puhdistukseen ja menetelmästä saadut kokemukset ovat olleet lupaavia. Veden samentumisen on raivausnuottauksen yhteydessä havaittu olevan lyhytaikainen ilmiö ja hyvän happitilanteen aikaan suoritettuna (Siikalammella kevät- ja syystäyskierrot) pohjasta vapautuva fosforiakaan ei ole muodostunut ongelmaksi (Tossavainen 2001). Ruopattava kasvimassa on mahdollisimman tarkoin kerättävä pois järvestä ja kompostoitava siihen soveltuvalla alueella. Mikäli etuja punnittaessa Siikalammella päädytään poistamaan vesiruttoa, sen tulisi tapahtua kasvin luontaisen syklin mukaisesti. Tällöin vesiruttoa poistetaan, kun kasvustot ovat saavuttaneet ns. päätevaiheensa ja ovat runsaimmillaan. Kasvustojen kehittymisen seuranta tapahtuu biomassanäytteiden avulla ja/tai seuraamalla vesiruton kukintaa. Yleensä kasvustojen on todettu olevan runsaimmillaan, kun kasvi alkaa kukkia (mm. Mäkinen 1998). Eri järvien tut-

kimuksissa (Rørslett ym. 1986; Sarvala 1998) vesiruton elinkierron pituuden on havaittu olevan 3-6 vuotta. Siikalammella kasvustojen arvioidaan saavuttavan huippunsa 1-2 vuoden kuluessa kesän 2001 tilanteesta. Raivausnuottaus voi kuitenkin jopa edistää vesiruton kasvua, jolloin saatetaan päätyä kierteeseen, joka edellyttää kasvillisuuden poistoa lähes joka syyskesä. Pysyvästi vesiruttoa ei voitane poistaa järvestä millään keinolla.

Kasvimassan poiston jälkeen sinilevä- ja rehevyysongelmiin on paremmat mahdollisuudet vaikuttaa myös biomanipulaatiolla eli ravintoverkkokunnostuksella, jolla samalla vaikutetaan kalaston rakenteen tervehtymiseen. Tällöin pyritään valikoivan kalastuksen avulla ja mahdollisesti myös petokalaistutuksin vähentämään ylitieheää, pohjaa pöyhivää ja eläinplanktonia syövää särkikalastoa. Liiallinen särkikalasto estää suurikokoisten, leviä syövien vesikirppujen esiintymisen ja voi epäsuorasti vaikuttaa levien määrän lisääntymiseen (Sarvala ym. 1997). Ravintoverkkokunnostuksella ja sitä tukevilla hoitotoimenpiteillä voidaan pyrkiä lisäämään isojen vesikirppujen osuutta eläinplanktonissa sekä vaikuttaa itse kalaston aiheuttamiin rehevöitymishaittoihin. Liian pieneksi jäävä kalastusteho voi kuitenkin kohottaa kalakannan tuottavuutta. Tehokalastuksen pitääkin olla nopea ja tehokas toimenpide (vähintään 75 % kaloista). Jotta poistopyynnillä olisi tavoiteltuja vaikutuksia, tulisi tehokalastusta jatkaa mieluiten vähintään neljä vuotta, jonka jälkeen särkikalasto pidetään kurissa säännöllisellä hoitokalastuksella. Tehokalastuksen jälkeen kalabiomassaa saa jäädä järveen enintään 20-50 kg/ha, petokalojen osuus kalastosta tulisi olla 30-40 %.

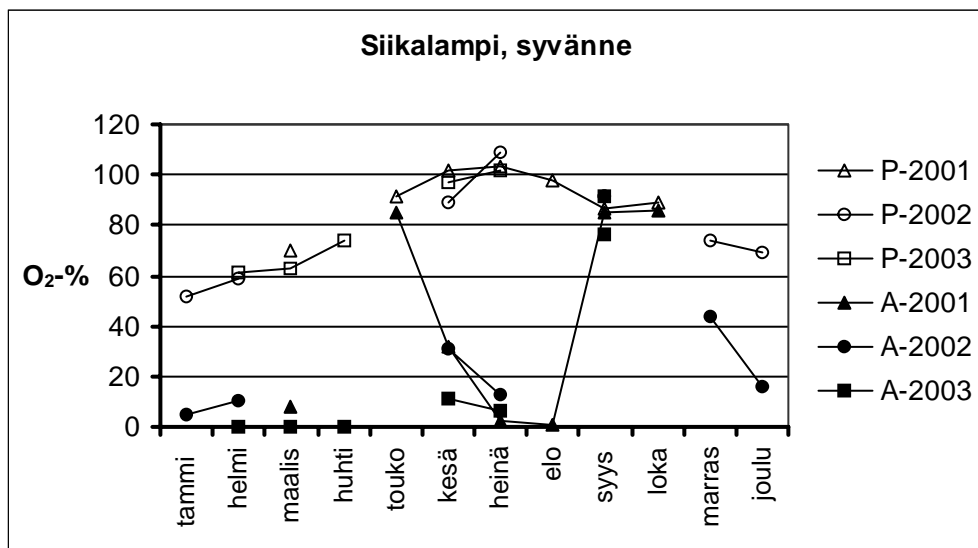
3.9.3 Kuormituksen vähentämistä tukevat kunnostusmenetelmät

Lisäveden juoksutus soveltuu Siikalammen kunnostukseen ulkoisen kuormituksen minimoinnin, kasvillisuuden raivausnuottauksen ja tehokalastuksen tukitoimenpiteenä. Oleellista lisäveden johtamisessa on, että aineiden sedimentoitumista vähennetään ja poistumista luusuan kautta lisätään. Laimentumista saadaan aikaan, kun järveen johdetaan lisävetä, jonka ravinnepitoisuus on pienempi kuin järviveden. Menetelmällä on pitkäaikainen kunnostusvaikutus siinä tapauksessa, että ulkoinen kuormitus on minimoitu ja pohjasedimentin tila ja kalaston rakenne on saatu kunnostusjakson aikana tervehtymään (Lappalainen 1990b). Lisäveden lähteenä voidaan tarkastella Pitkänlamminkankaan pohjavesialueetta, josta luontaisestikin pulppuaa pohjavettä pienistä lähteistä järven eteläpäähän. Veden vaihtuvuuden lisäämiseksi voidaan tutkia myös Kostojoen veden johtamista järven pohjoispuolen kangasmaaston läpi Siikalampeen. Lisäveden juoksutus olisi järkevintä aloittaa kasvillisuuden raivausnuottauksen ja tehokalastuksen aloittamisen jälkeen. Myönteisten vaikutusten aikaansaamiseksi lisäveden määrän tulee olla vähintään 5000 m³/d.

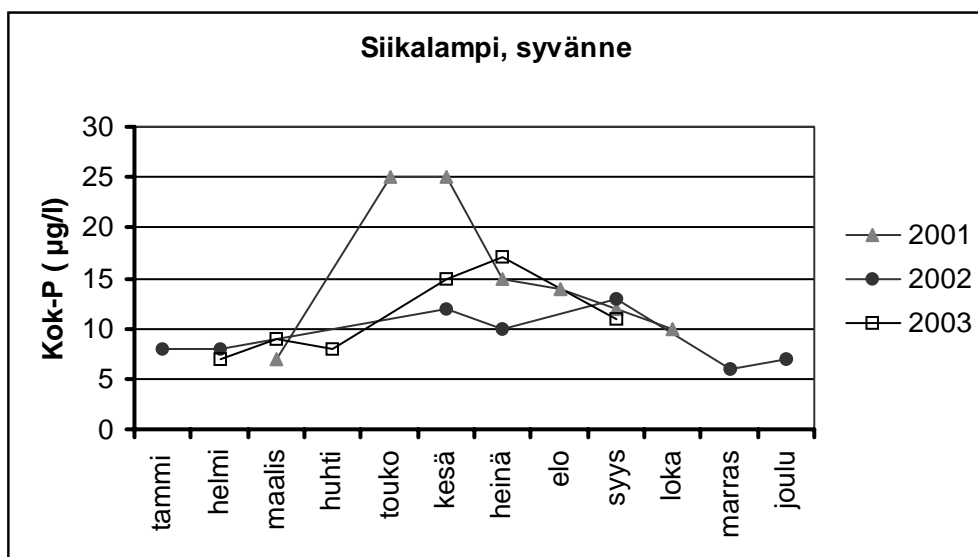
Mikäli edellä mainitut kunnostusmenetelmät eivät riittävästi paranna Siikalammen tilannetta, tukitoimenpiteeksi soveltuu myös syvänteiden sedimentin hapetus kemikaloinnilla ja ilmastuksella. Sedimentin hapetus voidaan tehdä joko ferrikloridilla tai nitraattikäsittelyllä eli ns. riplox-hapetuksella, jotka tulevat kyseeseen Tuusulanjärvellä tehtyjen koetulosten perusteella (Kansanen 1992). Kemikaloinnin hapetusvaikutusta pitää tehostaa ilmastuksella, jotta fosfori saadaan tehokkaasti pidättymään sedimentissä. Aikaisempien kunnostuskokeiden perusteella suositeltavaa on tehdä kemikalointi kahteen kertaan, jotta kemikaalin hapettava vaikutus kumuloituisi ja kunnostus vaikuttaisi pitempään (Puro ym. 1999).

3.10 Siikalammen tila ja tulevaisuus

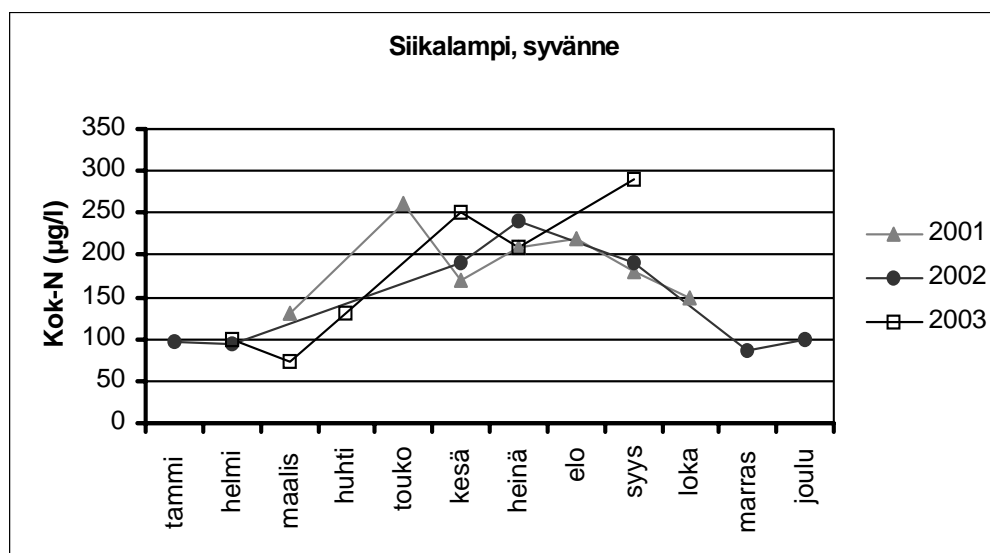
Veden laatu Siikalammessa on vuoden 2001 kunnostussuunnittelun tutkimusten jälkeen pysynyt ennallaan, lievästi rehevällä tasolla. Happivajetta on esiintynyt pohjanläheisissä vesikerroksissa etenkin kevättalvella 2003 (kuva 26), mikä kuitenkin ei selvästi ole heijastunut ravinnepitoisuuksiin. Pintaveden kokonaisfosforipitoisuus oli kesä-syyskuussa vuosina 2002-2003 10-17 µg/l, kokonaistyyppipitoisuus 190-290 mg/l ja klorofylli-a:n määrä 2,3-5,1 mg/l (kuvat 27-28). Vähäisiä leväesiintymiä on havaittu kesäkuun loppupuolelta elokuun loppuun. Kesäkuussa 2002 leväesiintymästä otetun näytteen todettiin koostuvan *Anabaena lemmermannii* sini-levästä, myös heinäkuussa 2003 vedestä määritettiin *Anabaena*-suvun levälajeja. Massaesiintymiksi sinileväkukinnot eivät runsastuneet.



Kuva 26. Hapen kyllästysaste Siikalammen pintavedessä (P, 1 m) ja alusvedessä (A, 7-9 m) vuosina 2001-2003.



Kuva 27. Kokonaisfosforipitoisuudet Siikalammen pintavedessä (1m) vuosina 2001-2003.



Kuva 28. Kokonaistypipitoisuudet Siikalammen pintavedessä (1 m) vuosina 2001-2003.

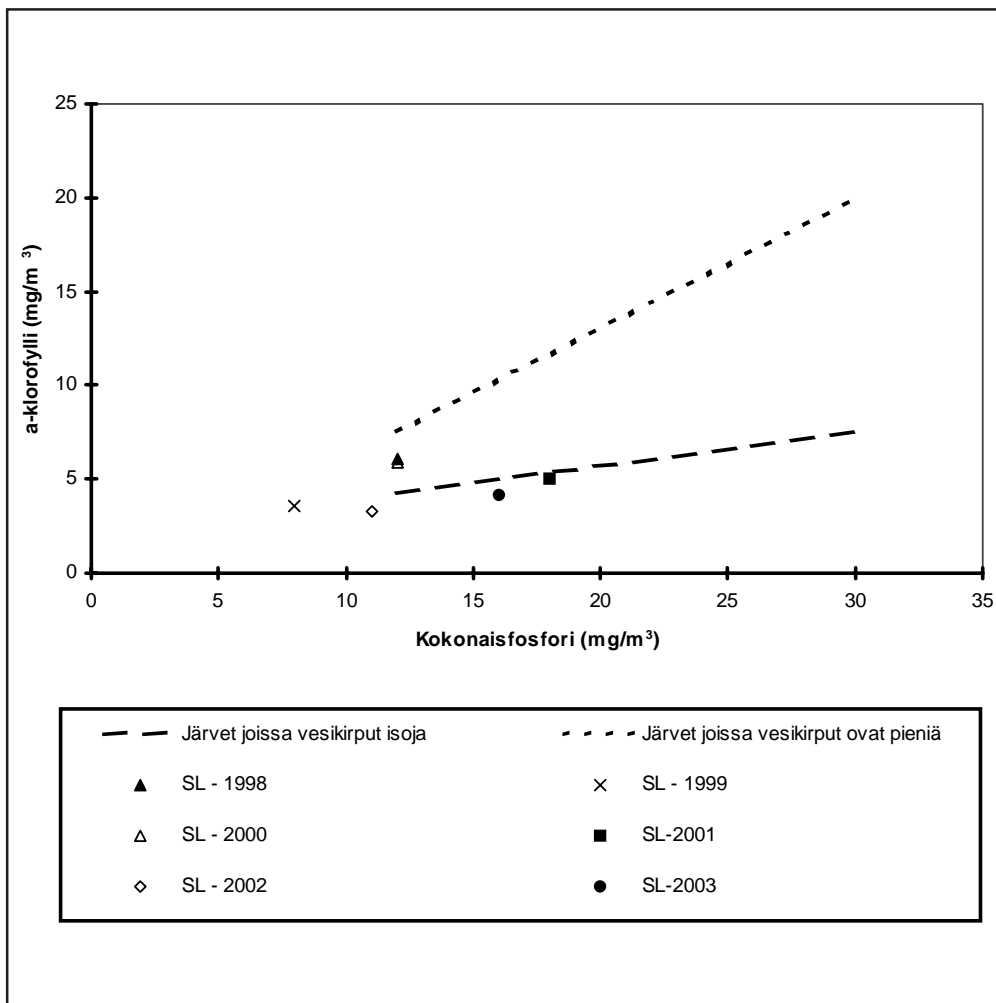
Virkistyskäyttöarvon parantamiseksi Siikalammella on ryhdytty toimenpiteisiin. Kunnostustoimia on toteutettu Taivalkosken kalastuskunnan, Taivalkosken kunnan ja Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen yhteistyönä. Elo-syyskuussa 2002 järveltä poistettiin vesikasvillisuutta, lähes yksinomaan vesiruttoa, noin 50 m³. Syksyllä 2003 toimenpide toistettiin ja kasvimassaa poistettiin noin 12 m³. Vesiruttokasvustoja leikattiin pohjanmyötäisesti, käyttäen erilaisia leikkuuteriä, sillä raivausnuotta osoittautui tiheään ja painavan kasvimassan poistossa tehottomaksi. Järven pintaan kohonneet ja rannoille ajautuneet leikkuujätteet kerättiin ja toimitettiin jätevedenpuhdistamolle kompostoitumaan (Kesti 2003).

Syys-lokakuussa 2002 ja 2003 järvellä suoritettiin myös tehokalastusta särkikalaston vähentämiseksi. Nuottana käytettiin tiheää hoitokalastusnuottaa, kehältään 300 metriä ja pyyntisyvyydeltään 10 metriä. Saalista kertyi syksyllä 2002 yhteensä 4300 kg eli 113 kg/ha. Syksyn 2003 saalis oli vain 710 kg eli 18,7 kg/ha. Kalaston lajikoostumusta selvitettiin saaliista otettujen satunnaisnäytteiden perusteella (taulukko 17). Kalasto oli keskikooltaan pientä, saaliiksi saadut siiat ja hauet (muutamia yksilöitä) palautettiin järveen. Saalis toimitettiin vetokoirien ja turkiseläinten rehuksi (Hautala 2002B, 2003B).

Taulukko 17. Siikalammen tehokalastussaaliin laskennallinen lajikoostumus ja määrä vuosina 2002 ja 2003 (Hautala 2002B, 2003B).

| | Saalis 2002 | | Saalis 2003 | |
|---------|-------------|-------|-------------|-------|
| | kg | % | kg | % |
| särki | 3897 | 90,6 | 648 | 91,2 |
| salakka | 286 | 6,6 | 6 | 0,9 |
| ahven | 117 | 2,7 | 56 | 7,9 |
| Yht. | 4300 | 100,0 | 710 | 100,0 |

Sekä kasvillisuuden poistoa että tehokalastusta on suunniteltu jatkettavan syyskesäisin lähivuosina, joiden aikana myös seurataan kunnostustoimien vaikutusta järven tilaan. Tehokkaalla planktonsyöjäkalaston poistolla voidaan vähentää isoihin vesikirppuihin kohdistuvaa saalistuspainetta ja parantaa veden laatua. Alun perin Mazumderin (1994) esittämään laajaan järviaineistoon perustuen veden a-klorofyllipitoisuuden on havaittu riippuvan sekä ravinnetasosta että vesikirppujen kokojakaumasta. Siikalammen kesän fosfori- ja a-klorofyllitaso on viime vuosina (1998-2003) vaihdellut mm. vesiruttokasvustojen kehittymisen johdosta. Vesikirppujen kokojakauma edustaa kuitenkin fosfori- ja a-klorofyllitason perusteella pääasiassa isokokoista, kasviplanktonia ravintonaan käyttävää lajistoa. Leväkukintojen hallinnassa pitämiseksi, planktoneläimistön tervettä kokojakaumaa tuetaan epäsuorasti tehokalastuksella, jonka vaikutusta voidaan arvioida pitemmän seurantajakson jälkeen (kuva 29).



Kuva 29. Kasviplanktonin a-klorofylli veden kokonaisfosforin funktiona Siikalammessa kesä-elokuun pitoisuuksien perusteella vuosina 1998-2003. Regressiosuorat kuvaavat muuttujien suhdetta planktoneläimistöltään (ja kalastoltaan) erilaisissa kerrostumattomissa järvissä (Mazumder 1994, Sarvalan ym. 1997 mukaan).

Kirjallisuus

- Ahtiainen, M. & P. Huttunen (1995). Metsätaloustoimenpiteiden pitkäaikaisvaikutukset purovesien laatuun ja kuormaan. *Teoksessa* Saukkonen Sari & Kaarle Kenttämies (toim.): Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE –projektin loppuraportti. *Suomen ympäristö* 2, 33-50. Helsinki.
- Alatalo, T. (2001). Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskus. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Cooke, G.D., Welch, E.B., Peterson, S.A. & P.R. Newroth (1993). *Restoration and Management of Lakes and Reservoirs*. Second edition. s. 45-83. Lewis Publishers, New York.
- Coste, M. (1982). *Teoksessa* CEMAGREF: *Etude des méthodes biologiques quantitatives d'appréciation de la qualité des eaux*. 218 s. Rapport Division Qualité des Eaux Lyon – Agence financière de Bassin Rhone – Méditerranée – Corse, Pierre – Bénite.
- Denys, L. (1991). A check-list of the diatoms in the holocene deposits of the Western Belgian coastal plain with a survey of their apparent ecological requirements. I Introduction, ecological code and complete list. 41 s. Ministère des Affaires Economiques. Service Géologique de Belgique.
- Eloranta, P. (1990). Periphytic Diatoms in the Acidification Project Lakes. *Teoksessa* Kauppi, P., Anttila, P. & K. Kenttämies (toim.): *Acidification in Finland*, 985-994. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Forsberg, C. & S-O. Ryding (1980). Eutrophication parameters and trophic state indices in 30 Swedish waste-receiving lakes. *Arch. Hydrobiol.* Vol. 89: 189-207.
- Halonen, A. & K. Heikkinen (1997). Siuruanjoki kuntoon yhteistyöhanke, kuormitus selvitys ja toimintaohjelma. 47 s. Moniste 18.12.1997. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulu. Julkaisematon raportti.
- Hautala, A. (2001). Saunajärven hoitokalastustarve; Yhteenveto pohja-aineistosta ja suosituksia. 13 s. Raportti. Osuuskunta VesiVasama, Rovaniemi. Julkaisematon raportti.
- Hautala, A. (2002a). Raportti Pudasjärven Saunajärven tehokalastuksesta syksyllä 2002. 2 s. Osuuskunta VesiVasama, Rovaniemi. Julkaisematon raportti.
- Hautala, A. (2002b). Raportti Taivalkosken Siikalammen tehokalastuksesta syksyllä 2002. Osuuskunta Vesi-Vasama, Rovaniemi. Julkaisematon raportti.
- Hautala, A. (2003a). Raportti Pudasjärven Saunajärven tehokalastuksesta syksyllä 2003. 3 s. Osuuskunta VesiVasama, Rovaniemi. Julkaisematon raportti.
- Hautala, A. (2003b). Raportti Taivalkosken Siikalammen tehokalastuksesta syksyllä 2003. Osuuskunta Vesi-Vasama, Rovaniemi. Julkaisematon raportti.
- Heikkinen, M. (2000). Biologi, Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Heiskanen, A. (1992). Kiinteistökohtaisten jätevesilaitteiden markkinakatsaus. *Teoksessa* Rontu, M.: Pienten jätevedenpuhdistamoiden toimivuus. *Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja* 418, 51-65. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.
- Hiltunen, E. (1997). Haja- ja loma-asutuksen jätevesien käsittelyvaatimusten kehittäminen. Vyöhykejaon soveltaminen Hauhon kunnassa/ HajaKäsi -työryhmä. 68 s. *Alueelliset ympäristöjulkaisut* 52. Hämeen ympäristökeskus, Hämeenlinna.
- Hintikka, O. & Karjalainen, T. (1993). *Tehokalastus Saunajärvellä syksyllä 1993*. 9 s. Metsähallitus, Pudasjärven hoitoalue. Julkaisematon raportti.
- Hirvonen, A. & S. Salonen (1995). Ravintoketjukurin nostuksen alkutaival Köyliönjärvellä. *Vesitalous* 3/1995. s. 11-14.
- Huuskonen, S. (2000). Kalatalouskonsulentti, Oulun maaseutukeskus. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Hynninen, P. (2000). Biologi, Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Hynynen, J. (2001). FK, Ympäristöntutkimuskeskus, Jyväskylän yliopisto. Tutkimus selvitys 30.8.2001.
- Ilmatieteen laitos (1991). *Tilastoja Suomen ilmastosta 1961-1990*. Liite Suomen meteorologiseen vuosikirjaan, nide 90 osa 1-1990. 125 s. Valtion painatuskeskus, Hakaniemen Valtimo, Helsinki.
- Ilmatieteen laitos (1993). *Suomen meteorologinen vuosikirja 1991*. Suomen virallinen tilasto. 155 s. Painatuskeskus, Helsinki.

- Ilmatieteen laitos (1994a). *Suomen meteorologinen vuosikirja 1992*. Suomen virallinen tilasto. 153 s. Painatuskeskus, Helsinki.
- Ilmatieteen laitos (1994b). *Suomen meteorologinen vuosikirja 1993*. Suomen virallinen tilasto. 153 s. Helsinki.
- Ilmatieteen laitos (1995). *Suomen meteorologinen vuosikirja 1994*. Suomen virallinen tilasto. 84 s. Helsinki.
- Ilmatieteen laitos (1996). *Suomen meteorologinen vuosikirja 1995*. Suomen virallinen tilasto. 84 s. Helsinki.
- Ilmatieteen laitos (1997). *Suomen meteorologinen vuosikirja 1996*. Suomen virallinen tilasto. 82 s. Helsinki.
- Ilmatieteen laitos (1999a). *Suomen meteorologinen vuosikirja 1997*. Suomen virallinen tilasto. 84 s. Helsinki.
- Ilmatieteen laitos (1999b). *Suomen meteorologinen vuosikirja 1998*. Suomen virallinen tilasto. 82 s. Helsinki.
- Ilmatieteen laitos (2000). *Suomen meteorologinen vuosikirja 1999*. Suomen virallinen tilasto. 78 s. Helsinki.
- Itkonen A. & H. Olander (1997). The origin of the hypertrophic state of a shallow boreal shield lake. *Boreal Environment Research* 2: 183-198.
- Junntila, K., Paananen, P., Rahkila, R., Yrjänä, T., Luokkanen, E. & Halonen, M. 2002: A large-scale river basin management programme in northern part of Finland. *Large Rivers* 13 (3) 371-386.
- Jussila, V. (2001). Taivalkosken kalastuskunnan esimies. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Järvinen, O. & T. Vänni (1992a). Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1990. 74 s. *Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja* 378. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.
- Järvinen, O. & T. Vänni (1992b). Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1991. 74 s. *Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja* 400. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.
- Järvinen, O. & T. Vänni (1994a). Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1992. 68 s. *Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja* 510. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.
- Järvinen, O. & T. Vänni (1994b). Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1993. 68 s. *Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja* 579. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.
- Järvinen, O. & T. Vänni (1996). Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1994. 65 s. *Suomen ympäristökeskuksen moniste* 13. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Järvinen, O. & T. Vänni (1997). Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1995. 68 s. *Suomen ympäristökeskuksen moniste* 78. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Järvinen, O. & T. Vänni (1998). Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1996. 67 s. *Suomen ympäristökeskuksen moniste* 120. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Kairesalo, T., Keto, J. & I. Sammalkorpi (1990). Biomanipulaatio (ravintoketjukuristus). *Teoksessa Ilmavirta, V. (toim.): Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet*, 310-326. Yliopistopaino, Helsinki.
- Kairesalo, T., Hartikainen, H., Tuominen, L., Koski-Vähälä, J. & M. Liukkonen (1995). Sedi-
mentti ja sedimentaatiotutkimukset. *Teoksessa Sammalkorpi, I., Keto, J., Kairesalo, T., Luokkanen, E., Mäkelä, M., Vääriskoski, J. & E. Lammi (toim.): Vesijärvi-
projekti 1987-1994, 69-73 Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja –sarja A 218*. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.
- Kansanen, P. & T. Jaakkola (1985). Assessment of pollution history from recent sediments in Lake Vanajavesi, southern Finland. I. Selection of representative profiles, their dating and chemostratigraphy. *Ann Zool. Fennici* 22: 13-55.
- Kansanen, P. (1992). Tuusulanjärven sedimentin kunto ja kunnostusmahdollisuudet. Sedi-
menttitutkimuksen 1998 - 1991 loppuraportti. 87 s. Keski-Uudenmaan vesiensuojelun kuntainliitto, Kerava.
- Kansanen, P. & M. Pekkarinen (1996). Tuusulanjärven sisäinen kuormitus ja mahdollisuudet pilaantuneen sedimentin kunnostamiseen. *Vesitalous* 37 (3): 8-13.
- Kelly, M.G. & B.A. Whitton (1995). The Trophic Diatom Index: a new index for monitoring eutrophication in rivers. *J. Appl. Phycol.* 7: 433-444.
- Keränen, E. (2001). Maataloussihteeri, Taivalkosken kunta. Henkilökohtainen tiedonanto.

- Kesti, Hannu (2003). Terveystarkastaja-ympäristönsuojelusihteeri, Taivalkosken kunta. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Keto, J. & I. Sammalkorpi (1995). Vesijärven kunnostuksen taustaa. *Teoksessa* Sammalkorpi, I., Keto, J., Kairesalo, T., Luokkanen, E., Mäkelä, M., Vääriskoski, J. & E. Lammi (toim.): Vesijärvi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja –sarja A 218. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.
- Kiiskilä, A. (2001). Raportti Pudasjärven Saunajärven tehokalastuksesta syksyltä 2001. 1 s. Osuuskunta VesiVasama, Rovaniemi. Julkaisematon raportti.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot (1991a). *Sußwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/3. Bacillariophyceae, 3. Teil: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. 576 s. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot (1991b). *Sußwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/4. Bacillariophyceae, 4. Teil: Achnanthaceae, Kritische Ergänzung zu Navicula (Lineolatae) und Gomphonema Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-4. 437 s. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot (1997a). *Sußwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/1. Bacillariophyceae, 1. Teil: Naviculaceae. 876 s. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Krammer, K. & H. Lange-Bertalot (1997b). *Sußwasserflora von Mitteleuropa*, Band 2/2. Bacillariophyceae, 2. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. 610 s. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- Kuusela, H. (2002A). Taivalkosken Siikalammen vesistötutkimus –järven tila kunnostussuunnittelun lähtökohtana. 96 s. Pro gradu -tutkielma. Maantieteen laitos, Oulun yliopisto.
- Kuusela, H. (2002B). Saunajärven seurantaohjelma. 14 s. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulu. Julkaisematon raportti.
- Lakso, E. & S. Viitasaari (1990). Kauhajärven vesiensuojelusuunnitelma. 82 s. *Vesi- ja ympäristöhallinnon monistesarja* 241. Vesi- ja ympäristöhallitus, Vaasa.
- Lappalainen, K.M. & J. Matinvesi (1990). Järven fysikaalis-kemialliset prosessit ja ainetaseet. *Teoksessa* Ilmavirta, V. (toim.): Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet, 54-84. Yliopistopaino, Helsinki.
- Lappalainen, K.M. (1990a). Rehevoityminen seurausilmiöineen. *Teoksessa* Ilmavirta, V. (toim.): Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet, 108-133. Yliopistopaino, Helsinki.
- Lappalainen, K.M. (1990b). Laimentaminen ja huuhteleminen. *Teoksessa* Ilmavirta, V. (toim.): Järvien kunnostuksen ja hoidon perusteet, 296-303. Yliopistopaino, Helsinki.
- Lecointe, C., Coste, M & J. Prygiel (1993). "Omnia": Software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia* 269/270:509-513.
- Lehmikangas, M. (1998). Särkijärven kunnostus. 109 s. Diplomityö. Rakentamistekniikan osasto, Oulun yliopisto.
- Mazumder, A. (1994). Phosphorus-chlorophyll relationships under contrasting herbivory and thermal stratification; predictions and patterns. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51: 390-400.
- Mikkola, A., Jaakkola, O. & Y. Sucksdorff (1999). Valtakunnallisten maankäyttö-, peitteisyys- ja maaperäaineistojen muodostaminen. 85 s. *Suomen ympäristö* 342. Ympäristöministeriö, Helsinki.
- Mäkinen, A. & H. Koponen (1997). Vesirutto ja muu kasvillisuus Littoistenjärvessä kesällä 1996. *Teoksessa* Sarvala, J. (toim.): Littoisten järven tilan seuranta 1996. *Turun yliopiston biologian laitoksen julkaisuja* 18, 7-19. Turku.
- Mäkinen, A. (1998). Vesirutto, karvalehti ja muu vesikasvillisuus Littoistenjärvessä kesällä 1997. *Teoksessa* Sarvala, J. (toim.): Littoistenjärvi 1997. *Turun yliopiston biologian laitoksen julkaisuja* 20, 8-21 Turku.
- Naturvårdsverket (1999). Bedömningsgrunder för miljökvallitet, Sjöar och vattendrag. 101 s. Rapport 4913.
- Niemelä, K. (1999). Norvajärven vesihuollon rakentaminen kiinteistökohtaisin pienpaine-pumppaamoin. 24 s. *Lapin ympäristökeskuksen moniste* 25. Lapin ympäristökeskus, Rovaniemi.
- Näpänkangas, J. (2001). Suunnittelija, Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Kirjallinen tiedonanto.
- Oinas, M. & E. Väisänen (2002). Saunajärven vesikasvillisuuskartoitus 30.-31.7.2002. 18 s. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulu. Julkaisematon raportti.
- Oulun vesi- ja ympäristöpiiri (1994). Pohjavesialueet, Taivalkoski. Vesi- ja ympäristöhallitus.

- Paananen, P. (2001). *Siuranjoki kuntoon " Euroopan aluekehitysrahaston ja maakuntien yhteishanke. Case study: Saunajärven kunnostaminen.* 132 s. Diplomityö. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Oulun yliopisto.
- Paloniemi, M. (2001). Metsäesimies, Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskus. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Pekkala, J. (2001). Erikoistyönjohtaja, Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Perttunen, V. (1984). Pohjois-Suomen kallioperä. *Teoksessa* Silvennoinen, A. (toim.): *Acta Laponica Fenniae 12, Geologinen Pohjois-Suomi*, 7-27. Lapin tutkimusseura r.y., Rovaniemi.
- Pohjois-Suomen vesitutkimustoimisto & Oulun vesiensuojeluyhdistys (1992). *Vesianalyysien tulkinta*. 50 s. Oulu.
- Puro, A., Väisänen, T., Halonen, M., Hätälä, E., Hiltunen, E. & E. Juntura (1999). Ranuanjärven, Takajärven ja Luiminkajärven tila ja kunnostusmahdollisuudet. 90 s. *Alueelliset ympäristöjulkaisut* 88. Lapin ympäristökeskus, Rovaniemi.
- Reddy, K.R. & E.M. D'Angelo (1994). Soil processes regulating water quality in wetlands. *Teoksessa* Mitsch, W.J. (toim.): *Global Wetlands: Old World and New*, 309-324. Elsevier Science, Amsterdam.
- Renberg, I. & M. Wik (1984). Dating recent lake sediments by soot particle counting. *Verhandlungen der Internationalen Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie*. 22: 712-718.
- Ronkainen, A. (2001). Eläkeläinen, Rakennusmestari, Taivalkosken kunta. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Rontu, M. (1992). Pienten jätevedenpuhdistamoiden toimivuus. *Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja* 418. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki. s. 3-50.
- Rontu, M. & E. Santala (toim.) (1995). Haja-asutuksen jätevesien käsittely. 94 s. *Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja* 584. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.
- Ruokangas, R. (2001). Rakennustarkastaja, Taivalkosken kunta. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Rørslett, B. (1977). Vasspest (*Elodea canadensis*) på Østlandet fram til 1976. *Blyttia* 35:61-66.
- Rørslett, B., Berge, D. & S.W. Johansen (1986). Lake enrichment by submerged macrophytes. A Norwegian whole-lake experience with *Elodea canadensis*. *Aquatic botany*. 26: 235-340.
- Salonen, V.-P., Alhonen, P., Itkonen, A. & H. Olander (1993). The trophic history of Enäjärvi, SW Finland, with special reference to its restoration problems. *Hydrobiologia* 268: 147-162.
- Salonen, V.-P. & E. Varjo (1998). Enäjärvi-projektiin liittyvät sedimenttitutkimukset ja selvitykset. *Teoksessa* Lempinen, P. (toim.): *Vihdin Enäjärven kunnostus: Raportti vuosien 1993-1997 toimenpiteistä ja tutkimuksista*, 37-41. *Alueelliset ympäristöjulkaisut* 78. Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki.
- Sarvala, J., Helminen, H., Hirvonen, A. & S. Salonen (1995a). Köyliönjärven veden laatu ja siihen vaikuttavat mekanismit. *Vesitalous* 36:3, 15-17.
- Sarvala, J., Helminen, H. & A. Hirvonen (1995b). Ravintoketjukunnostuksen ekologiset perusteet. *Vesitalous* 36:3, 1-4.
- Sarvala, J., Helminen, H. & T. Kirkkala (1997). Pyhäjärven veden laatu ja sitä säätelevät tekijät. *Vesitalous* 38:3, 15-20.
- Sarvala, J. (1998). Littoistenjärvi 1997. *Turun yliopiston biologian laitoksen julkaisuja* 20. 54 s. Turku.
- Sas, H. (toim.) (1989). Lake restoration by reduction of nutrient loading: expectations, experiences extrapolations. Akademia Verlag Richarz.
- Saukkonen S. & P. Kortelainen (1995). Metsätaloustoimenpiteiden vaikutus ravinteiden ja orgaanisen aineen huuhtoutumiseen. *Teoksessa* Saukkonen S. & K. Kenttämies (toim.): *Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. Suomen ympäristö* 2, 15-31. Helsinki.
- Selin, A. (2001). Insinööri, Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Siiikalua, K. (2001). Yhdyskuntateknikko, Taivalkosken kunta. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Simola, H. (1984). Piilevien lajit ja yhteisöt ympäristön ilmentäjinä. *Luonnon tutkija*. 88: 3, 85-87.
- Soininen, J. (2001). MMM, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos, Helsingin yliopisto. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Sojakka, P. (2001). Ympäristötietoa Pohjois-Savosta: vesistöt, vesistöjen biologinenmonitorointi. Mitä eri eliölajit kertovat vesistöjen tilasta? *Vesikasvit (vesimakrofyytit)*. [WWW-dokumentti]. <http://pohjois-savo.vyh.fi/index.htm> [viitattu 19.9.2001].

- Sommarlund, H., Pekkarinen, M., Kansanen, P., Vahtera, H. & T. Väisänen (1998). Savipeitto-
menetelmän soveltuvuus Tuusulanjärven sedimentin kunnostuksessa. 99 s. *Suomen ympäristö. Ympäristönsuojelu* 231. Uudenmaan ympäristökeskus, Helsinki.
- Suomen kartasto (1992). Lehti 123-126 – Geologia. 58 s. Maanmittaushallitus, Helsinki.
- Suoraniemi, M., Törmänen, A.-I., Laine, S. & T. Kairesalo (1998). Kunnostetun järven hoitomalli – LIFE-hanke aktivoi asukkaita pitämään huolta Vesijärvestä. *Vesitalous* 38:3, 16-20.
- Särkkä, J. (1996). *Järvet ja ympäristö, limnologian perusteet*. 157 s. Gaudeamus. Tammer-Paino Oy, Tampere.
- Taivalkosken vesijohto- ja viemäriosuuskunta (1966). Pöytäkirja hallituksen kokouksesta 14.1.1966. Taivalkoski.
- Taivalkosken vesijohto- ja viemäriosuuskunta (1967a). Pöytäkirja hallituksen kokouksesta 12.1.1967. Taivalkoski.
- Taivalkosken vesijohto- ja viemäriosuuskunta (1967b). Pöytäkirja hallituksen kokouksesta 28.4.1967. Taivalkoski.
- Taivalkosken vesijohto- ja viemäriosuuskunta (1967c). Pöytäkirja hallituksen kokouksesta 16.6.1967. Taivalkoski.
- Tapani, J. (2001). Venkaan kalastuskunnan esimies. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Tertsunen, J. (2002). Saunajärven tehokalastus ja särjen kasvu vuonna 2002. 13 s. Julkaisematon raportti. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulu.
- Toivonen, H. (1984). Makrofyttien käyttökelpoisuus vesien tilan seurannassa. *Luonnon Tutkija*. 88:3, 92-95.
- Torssonen, M. (2001). Kalataloussuunnittelija, Oulun maaseutukeskus. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Tossavainen, T. (2001). Pohjois-Karjalan ympäristökeskus. Henkilökohtainen tiedonanto.
- Tyystjärvi-Muuronen, K. (toim.) (1985). *Vesioipas – vedet ja vesiluonto*. 136 s. Suomen Luonnon-suojelun Tuki Oy, Helsinki.
- Urho, L. (1994). Biomanipulaatio kalavesien hoitokeinona. *Teoksessa* Lappalainen, A. & M. Rahikainen (toim.): *Muuttuva kalatalous*, 68-76. Ympäristöalan ammattijärjestö ry, Helsinki.
- Vainio, M. (toim.) (2000). Haja-asutuksen jätevesien käsittelyohje Pyhäjärven alueen kunnille. *Lounais-Suomen ympäristökeskuksen monistesarja* 26. Lounais-Suomen ympäristökeskus, Turku.
- Van Dam, H. Mertens, A. & J. Sinkeldam (1994). A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from Netherlands. *Netherlands J. Aquatic Ecol.* 28:1, 117-133.
- Venkaan kalastuskunta (1997). Kalastuskunnan toimintakertomus 1997.
- Venkaan kalastuskunta (1998). Kalastuskunnan toimintakertomus 1998.
- Venkaan kalastuskunta (2000). Muistio Oulun TE-keskuksessa 15.12.2000 järjestetystä palaverista sisältäen Venkaan kalastuskunnan toimintakertomuksen vuodelta 2000.
- Vesi- ja ympäristöhallitus (1988). Vesistöjen laadullisen käyttökelpoisuuden luokittaminen. 48 s. *Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja* 20. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.
- Viikinkoski, K & P. Hynninen (1995). Liminganlahden vesistöalueen vesiensuojelusuunnitelma. 132 s. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja 211. Vesi- ja ympäristöhallitus, Oulun vesi- ja ympäristöpiiri, Helsinki.
- Viitamäki, H. (2002). Saunajärven eläinplankton vuonna 2002. 2 s. Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus, Oulu. Julkaisematon raportti.
- Viitasaari, S. (1990). Maatalouden vesistökuormitus ja sen merkitys Ähtävänjoen vesistöalueella. *Teoksessa*: Maatalouden vesiensuojelu. Oulun vesistö tutkimuspäivät 3.-4.4.1990. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 245. s. 49-55. Vesi- ja ympäristöhallitus, Helsinki.
- Vuorenmaa, J., Järvinen, O. & T. Vänni (1998). Sadeveden pitoisuus- ja laskeuma-arvot Suomessa vuonna 1997. 66 s. *Suomen ympäristökeskuksen moniste* 165. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.
- Vähänen K., Halmeenpää, H., Tertsunen, J., Väisänen, T. & T. Yrjänä. (2004). Impact of Restoration measures on a northern Forest lake. Poster presentation in 29th congress of SIL. Lahti, 8-15.August.2004.
- Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P.F., Green, M.B. & R. Haberl (1998). *Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe*. 366 s. Backhuys Publishers, Leiden.
- Äystö, V. (1997). Rehevien järvien kunnostuksen arviointi. 167 s. *Suomen ympäristö, ympäristönsuojelu* 115. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

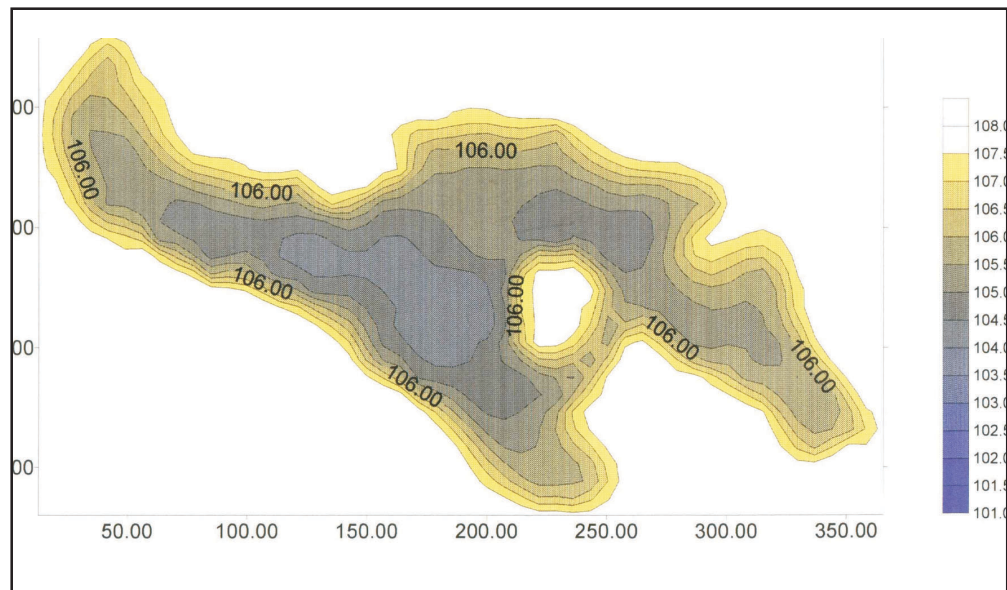
Liite 1. Siuruanjoen vesistöalueen vesiensuojelu; Tilakohtainen haastattelukaavake

| | | |
|--|---|---|
| SIURUANJOEN VESISTÖALUEEN VESIENSUOJELU | | Laadittu vuonna 2000 |
| Lomakkeen tiedot ovat luottamuksellisia. Tiedot ovat Lapin ja Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskuksen käytettävissä. | | |
| Maanomistaja | Jakeluosoite, postinumero ja -toimipaikka | |
| Puhelinnumero | Tilan nimi ja osoite (mikäli eri kuin ym.) | Rek. nro |
| Kunta | Osavaluma-alueen n:o | Lähin vesistön osa |
| TILAN / TONTIN KÄYTTÖ JA RAKENNUSTEN ETÄISYYS VESISTÖSTÄ | | |
| <p>Tilalla sijaitsevien rakennusten lukumäärä ja etäisyydet lähimmän vesistön rannasta</p> <p>Asuintalo _____ m</p> <p>Kesämökki _____ m</p> <p>Erillinen saunarakennus _____ m</p> <p>Ulkokäymälä _____ m</p> <p>Muut rakennukset (mitä ja etäisyydet) _____</p> <p>Vakituisten asukkaiden tai kesämökillä yöpyjien keskimääräinen lkm _____ henkilöä</p> <p>Keskimääräinen yöpymisvuorokausien määrä kesämökillä _____ vrk vuodessa</p> | | |
| VEDENHANKINTA JA VIEMÄRÖINTI | | |
| <p>Vedenhankinta</p> <p><input type="checkbox"/> Oma kaivo</p> <p><input type="checkbox"/> Vesijohto</p> <p><input type="checkbox"/> Muualta</p> | <p>Käymälätyyppi</p> <p><input type="checkbox"/> Vesikäymälä</p> <p><input type="checkbox"/> Kuivakäymälä</p> | <p>Jätevesien käsittely</p> <p><input type="checkbox"/> Kunnallinen viemäröinti</p> <p><input type="checkbox"/> Kiinteistökohtainen jätevesienkäsittely</p> |
| <p>Kiinteistökohtainen jätevesienkäsittely (vesivessalle)</p> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <p>Esikäsittely</p> <p><input type="checkbox"/> Sakokaivo</p> <p><input type="checkbox"/> Umpisäiliö</p> </div> <div> <p>Jälkikäsittely</p> <p><input type="checkbox"/> Maasuodatin</p> <p><input type="checkbox"/> Imeytysjasto tai -kenttä</p> <p><input type="checkbox"/> Imeytyskaivo tai kivipesä</p> <p><input type="checkbox"/> Pienpuhdistamo tms.</p> </div> <div> <p>Veden johtaminen</p> <p><input type="checkbox"/> Oja</p> <p><input type="checkbox"/> Vesistö</p> <p><input type="checkbox"/> Maan pinnalle</p> <p><input type="checkbox"/> Maahan sisään</p> </div> </div> | | |
| <p>Mitoitustiedot esikäsittely-yksikölle</p> <p>Materiaali _____</p> <p>Osastojen lukumäärä _____</p> <p>Rakentamisvuosi _____</p> <p>Mitat: halkaisija _____ m</p> <p style="margin-left: 40px;">syvyys _____ m</p> <p>Maapohja</p> <p><input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei</p> <p><input type="checkbox"/> Ei osaa sanoa</p> | <p>Mitoitustiedot jälkikäsittely-yksikölle</p> <p>Materiaali _____</p> <p>Rakentamisvuosi _____</p> <p>Mitat: halkaisija _____ m</p> <p style="margin-left: 40px;">syvyys _____ m</p> <p>Vallitseva maalaji jätevesien käsittelyalueella</p> <p>_____</p> | |
| <p>Jätevesienkäsittelyn riittävyys ja toimivuus</p> <p><input type="checkbox"/> Hyvä</p> <p><input type="checkbox"/> Kohtalainen</p> <p><input type="checkbox"/> Heikko</p> <p><input type="checkbox"/> Joutunut tekemään ohituksia</p> | <p>Olen halukas uudistamaan nykyistä jätevesien käsittelymenetelmää</p> <p><input type="checkbox"/> Kyllä, omana hankkeena</p> <p><input type="checkbox"/> kyllä, yhteishankkeena</p> <p><input type="checkbox"/> Ei</p> <p><input type="checkbox"/> Ei osaa sanoa</p> | <p>Olisin halukas liittymään kunnalliseen viemäriverkkoon tai yhteisviemäröintiin</p> <p><input type="checkbox"/> Kyllä</p> <p><input type="checkbox"/> Ei</p> <p><input type="checkbox"/> Ei osaa sanoa</p> |

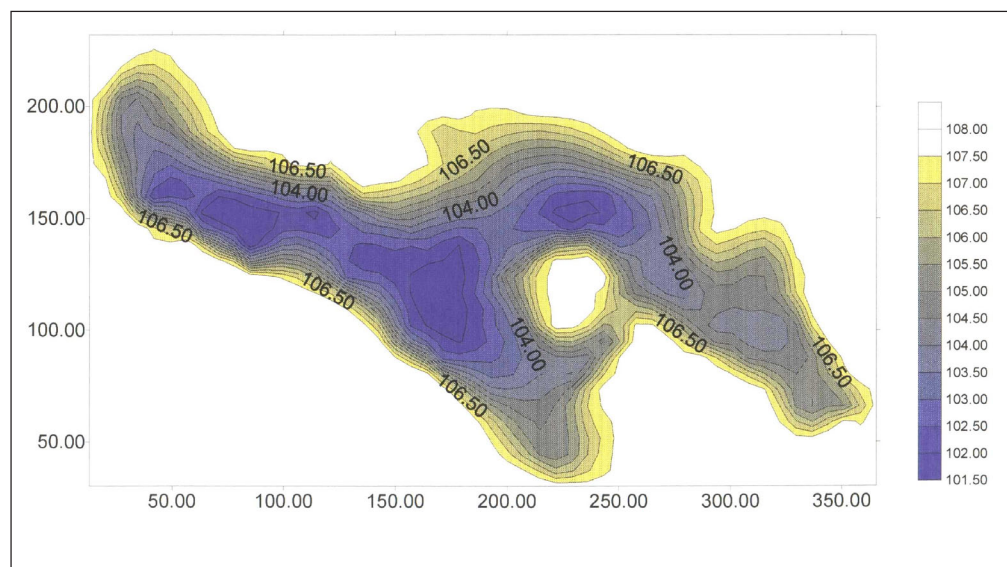
| PESUVESIEN KÄSITTELY JA JOHTAMINEN (asuinrakennusten ns. harmaat vedet) | | | |
|---|--|--|--|
| Pesuvesien johtaminen <input type="checkbox"/> Yhdessä käymälävesien kanssa (siirtykää kohtaan SAKOKAIVO- JA UMPIKAIVOLIETTEEN SEKÄ...) <input type="checkbox"/> Erillinen jätevesienkäsittely | | | |
| Erillinen jätevesienkäsittely | | | |
| Esikäsittely <input type="checkbox"/> Sakokaivo <input type="checkbox"/> Umpisäiliö | Jälkikäsittely <input type="checkbox"/> Maasuodatin <input type="checkbox"/> Imeytysjasto tai -kenttä <input type="checkbox"/> Imeytyskaivo tai kivipesä <input type="checkbox"/> Pienpuhdistamo tms. | Veden johtaminen <input type="checkbox"/> Oja <input type="checkbox"/> Vesistö <input type="checkbox"/> Maan pinnalle <input type="checkbox"/> Maahan sisään | |
| Mitoitustiedot esikäsittely-yksikölle Materiaali _____ Osastojen lukumäärä _____ Rakentamivuosi _____ Mitat: halkaisija _____ m syvyys _____ m Maapohja <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Ei osaa sanoa | | Mitoitustiedot jälkikäsittely-yksikölle Materiaali _____ Rakentamivuosi _____ Mitat: halkaisija _____ m syvyys _____ m | |
| Jätevesienkäsittelyn riittävyys ja toimivuus <input type="checkbox"/> Hyvä <input type="checkbox"/> Kohtalainen <input type="checkbox"/> Heikko <input type="checkbox"/> Joutunut tekemään ohituksia | | Olen halukas uudistamaan nykyistä jätevesien käsittelymenetelmää <input type="checkbox"/> Kyllä, omana hankkeena <input type="checkbox"/> kyllä, yhteishankkeena <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Ei osaa sanoa | |
| Olisin halukas liittymään kunnalliseen viemäriverkkoon tai yhteisviemärintiin <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Ei osaa sanoa | | | |
| SAKOKAIVO- JA UMPIKAIVOLIETTEEN SEKÄ PUUCEEN TYHJENTÄMINEN | | | |
| Sakokaivo/umpisäiliö tyhjenetään _____ kertaa vuodessa | | | |
| Sakokaivo-/umpisäiliölietteen loppusijoitus <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> Pellolle levitys _____ Yrittäjä tyhjentää, yrityksen nimi _____ Sopimus tyhjentämisestä yrittäjän kanssa _____ Muu, mikä _____ </div> <div> Tapa _____ Levittäjä _____ </div> <div> Aika _____ <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei </div> </div> | | | |
| Puuceeastia <input type="checkbox"/> Umpipohjainen <input type="checkbox"/> Pohjasta rei'itetty <input type="checkbox"/> Maapohja | Puuceen tyhjennys <input type="checkbox"/> Maahan hautaaminen <input type="checkbox"/> Pellon lannoittaminen <input type="checkbox"/> Muu, mikä _____ | Millaisena <input type="checkbox"/> Kompostoituna <input type="checkbox"/> Sellaisenaan | |
| JÄTEHUOLTO | | | |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input type="checkbox"/> Kunnallinen jätehuolto <input type="checkbox"/> Kuljetetaan itse kaatopaikalle <input type="checkbox"/> Viedään muualle, minne _____ <input type="checkbox"/> Ongelmajätteiden varastointi (yli 0,5 v.) tilalla </div> <div> <input type="checkbox"/> Komposti <input type="checkbox"/> Paperijätteen poltto <input type="checkbox"/> Kaikkien palavien jätteiden poltto <input type="checkbox"/> Jätteiden lajittelu </div> </div> | | | |

| ERILLISEN SAUNARAKENNUKSEN PESUVESIEN KÄSITTELY | | | | | |
|--|--------------------------|---|--------------------------|--|--------------------------|
| Pesuvesien johtaminen | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Yhdessä käymälävesien kanssa (siirtykää kohtaan ARVIO VESISTÖN TILASTA) <input type="checkbox"/> Yhdessä muiden pesuvesien kanssa (siirtykää kohtaan ARVIO VESISTÖN TILASTA) <input type="checkbox"/> Erillinen jätevesienkäsittely | | | | | |
| Erillinen jätevesienkäsittely | | | | | |
| Esikäsittely | | Jälkikäsittely | | Veden johtaminen | |
| <input type="checkbox"/> Sakokaivo <input type="checkbox"/> Umpisäiliö | | <input type="checkbox"/> Maasuodatin <input type="checkbox"/> Imeytysjasto tai -kenttä <input type="checkbox"/> Imeytyskaivo tai kivipesä <input type="checkbox"/> Pienpuhdistamo tms. | | <input type="checkbox"/> Oja <input type="checkbox"/> Vesistö <input type="checkbox"/> Maan pinnalle <input type="checkbox"/> Maahan sisään | |
| Mitoitustiedot esikäsittely-yksikölle | | Mitoitustiedot jälkikäsittely-yksikölle | | | |
| Materiaali _____ | | Materiaali _____ | | | |
| Osastojen lukumäärä _____ | | | | | |
| Rakentamivuosi _____ | | Rakentamivuosi _____ | | | |
| Mitat: | halkaisija _____ m | Mitat: | halkaisija _____ m | | |
| | syvyys _____ m | | syvyys _____ m | | |
| Maapohja | | Vallitseva maalaji jätevesien käsittelyalueella | | | |
| <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Ei osaa sanoa | | _____ | | | |
| Jätevesienkäsittelyn riittävyys ja toimivuus | | Olen halukas uudistamaan nykyistä jätevesien käsittelymenetelmää | | Olisin halukas liittymään kunnalliseen viemäriverkkoon tai yhteisviemärintiin | |
| <input type="checkbox"/> Hyvä <input type="checkbox"/> Kohtalainen <input type="checkbox"/> Heikko <input type="checkbox"/> Joutunut tekemään ohituksia | | <input type="checkbox"/> Kyllä, omana hankkeena <input type="checkbox"/> kyllä, yhteishankkeena <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Ei osaa sanoa | | <input type="checkbox"/> Kyllä <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Ei osaa sanoa | |
| ARVIO VESISTÖN NYKYISESTÄ TILASTA | | | | | |
| Vesistön tila | Hyvä | Tyydyttävä | Välttävä | Huono | Ei osaa sanoa |
| Virkistyskäytön kannalta | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Veden laatu | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Kunnostuksen tarve | | | | | |
| <input type="checkbox"/> Ei tarvita toimenpiteitä <input type="checkbox"/> Kunnostettava <input type="checkbox"/> Ei osaa sanoa | | | | | |
| Voitte kirjoittaa kommentteja ja ehdotuksia kaavakkeen kääntöpuolelle mm. seuraavista asioista | | | | | |
| - Kuinka vesistön tilaa voisi mielestänne parantaa - Mitä voisitte itse tehdä vesistön tilan parantamiseksi omalla kiinteistöllänne/ tilallanne - Ehdotuksia alueen kehittämiseksi esim. elinkeinoelämän ja virkistyskäytön kannalta | | | | | |
| Päivämäärä | Allekirjoitus | | | | |

Liite 2. Saunajärven loma-asukkaiden 29.8.2000 tekemän syvyyskartoituksen tulokset.



Saunajärven lietteen pinnan sijainti loma-asukkaiden 29.8.2000 mitaaman syvyyskartoituksen mukaan. Vesipinta tasossa N60+107,7 m.



Saunajärven kovan pohjan sijainti loma-asukkaiden 29.8.2000 mitaaman syvyyskartoituksen mukaan. Vesipinta tasossa N60+107,7 m.

Liite 3. Saunajärven luonnonhuuhtouman ja ilmalaskeuman määrittäminen.

Luonnonhuuhtouma Saunajärvellä lasketaan valuma-alueelle, jonka pinta-alasta on vähennetty vesialueet ($A_{\text{luonn.huuht.}} = 353,2$ ha) ja ilmalaskeuma järven pinta-alalle ($A_{\text{ilmalask.}} = 77,7$ ha). Luonnonhuuhtouma-arvo sisältää ilmalaskeuman maa-alueille. Ainevirtaamien ja kuormitustietojen perusteella saatu taustahuuhtouma on Siuruanjoen vesistön latvajärvien, kuten Saunajärven valuma-alueella suurempi kuin Halosen & Heikkisen (1997) kuormitusselvityksessä käytetty vuosihuuh-touma (Puro ym. 1999). Luonnonhuuhtouma-arvoa Saunajärvelle valittaessa on myös otettu huomioon, että koko Siuruanjoessa on korkeat fosforipitoisuudet valuma-alueen maankäytön määrään nähden (Hynninen 2000).

Saunajärven luonnonhuuhtouma-arvojen arviointiin käytetyt keskimääräiset luonnonhuuhtouma-arvot Liuhapuron ja Siuruanjoen valuma-alueilla (Ahtiainen & Huttunen 1995; Halonen & Heikkinen 1997).

| Vesistö | kok. P (kg ha ⁻¹ a ⁻¹) | PO ₄ -P (kg ha ⁻¹ a ⁻¹) | kok. N (kg ha ⁻¹ a ⁻¹) | kiintoaine (kg ha ⁻¹ a ⁻¹) |
|--------------------------------|--|--|--|--|
| Liuhapuro ₁₉₇₉₋₁₉₉₄ | 0,09 | 0,02 | 2,2 | 3,6 |
| Siuruanjoki | 0,06 | - | 1,5 | - |

Luonnonhuuhtouma ja ilmalaskeuma Saunajärvellä. Luonnonhuuhtouma-arvot arvioitu Liuhapuron ja Siuruanjoen valuma-alueiden arvojen mukaan (ks. yllä), ilmalaskeuma-arvot Suomen vuosikeskiarvoista (Järvinen & Vänni 1992a, 1992b, 1994a, 1994b, 1996, 1997, Halosen & Heikkisen 1997 mukaan).

| | | Yksikkökuormitus (kg ha ⁻¹ a ⁻¹) | Tulos (kg a ⁻¹) |
|------------------|-----------------|--|--------------------------------|
| Luonnonhuuhtouma | Kokonaisfosfori | 0,08 | 28,3 |
| | Kokonaistyyppi | 1,8 | 635,8 |
| Ilmalaskeuma | Kokonaisfosfori | 0,07 | 5,4 |
| | Kokonaistyyppi | 4,2 | 326,3 |

Liite 4. Loma-asutuksen, leirikeskuksen sekä metsätaloustoimenpiteiden laskennallinen kuormitus Saunajärveen.

Loma-asutuksen ja leirikeskuksen kuormitusvaikutus Saunajärvellä. Laskelmat perustuvat Hiltusen 1997, Lakson & Viitasaaren 1990, Rontun & Santalan 1995 ja Vainion 2000 esittämiin lukuarvoihin ja liitteen 1 mukaisen kyselytutkimuksen tietoihin Saunajärven loma-asuntojen jätevesien käsittelystä, käyttöasteesta ja etäisyyksistä vesistöön nähden.

| | | Kuormituskerroin (kg asukas ⁻¹) | Kuormitus (kg) |
|------------------|-----------------|--|-------------------|
| Maaperäkäsittely | kokonaisfosfori | 0,09 | 0,9 |
| | kokonaistyyppi | 0,67 | 6,7 |
| | org. aines | 0,36 | 3,6 |
| Ei käsittelyä | kokonaisfosfori | 0,12 | 4,0 |
| | kokonaistyyppi | 0,80 | 26,4 |
| | org. aines | 0,72 | 23,8 |
| Leirikeskus | kokonaisfosfori | 0,12 | 3,0 |
| | kokonaistyyppi | 0,80 | 20,0 |
| | org. aines | 0,72 | 18,0 |

Metsätaloustoimenpiteiden kuormitusvaikutus Saunajärvellä. Kuormituskertoimet ojitusten, avohakkuiden ja maanmuokkausten osalta Ahtiaisen & Huttusen 1995 mukaan, harvennushakkuiden osalta Halosen & Heikkisen 1997 mukaan.

| | | Yksikkökuormitus (kg ha ⁻¹) | Tulos (kg) |
|-----------------|-----------------|--|---------------|
| Ojitukset | kokonaisfosfori | 0,08 | 2,8 |
| | kokonaistyyppi | 2,6 | 91,0 |
| | kiintoaine | 118 | 4 130 |
| Avohakkuut | kokonaisfosfori | 0,7 | 5,7 |
| | kokonaistyyppi | 2,6 | 21,3 |
| | kiintoaine | 4 | 32,8 |
| Maanmuokkaus | kokonaisfosfori | 0,02 | 0,1 |
| | kokonaistyyppi | 0,5 | 2,7 |
| | kiintoaine | 1 | 5,4 |
| Harvennushakkuu | kokonaisfosfori | 0,2 | 2,9 |
| | kokonaistyyppi | 3,7 | 53,3 |
| | kiintoaine | 2 | 28,8 |

Liite 5. Saunajärven vedenlaatuhavaintoja vuosina 1988 – 2001.

| Paikka | | Saunajärvi keskellä | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|---------------------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----|---|
| Pvm | | 14.03.88 | 25.05.88 | 10.08.88 | 18.10.88 | 6.07.92 | 27.07.93 | 27.09.93 | 12.04.99 | 2.06.99 | 18.08.99 | 13.10.99 | 19.07.00 | 29.08.00 | 10.10.00 | 22.01.01 | 26.02.01 | 26 | |
| Syvyys m | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Lämpötila °C | | 0,4 | 10,1 | 15,8 | 4,2 | 15,2 | 18 | 5,1 | 1,1 | 11,4 | 14,6 | 5,3 | 20,5 | 15,8 | 9,6 | 0,6 | 0,9 | | |
| O ₂ kyl.% | | 51 | 95 | 95 | 93 | 109 | 94 | 97 | 33 | 95 | 98 | 88 | 92 | 93 | 93 | 72 | 81 | | |
| O ₂ mg/l | | 7,4 | 10,7 | 9,4 | 12,2 | 11 | 8,9 | 12,3 | 4,8 | 10,4 | 10 | 11,1 | 8,3 | 9,3 | 10,6 | 10,4 | 11,6 | | |
| Sameus FNU | | | | | | 19 | 17 | 18 | 2,2 | 2,6 | 7,2 | 5,3 | 10 | 7,5 | 3,9 | 1,3 | 0,89 | | |
| Sähk.j.kyky mS/m | | 3,2 | 2,1 | 2,1 | 2,2 | 2 | 1,7 | 1,8 | 2,9 | 1,9 | 1,8 | 1,9 | 1,7 | 1,8 | 2 | 2,2 | 2,1 | | |
| Alk. mmol/l | | 0,131 | 0,09 | 0,11 | 0,095 | 0,07 | 0,07 | 0,08 | 0,114 | 0,101 | 0,059 | 0,054 | 0,05 | 0,05 | 0,07 | 0,07 | 0,072 | | |
| pH | | 6,1 | 6,5 | 6,7 | 6,6 | 9,2 | 7,1 | 7,1 | 6 | 7 | 6,9 | 6,3 | 6,5 | 6,7 | 6,9 | 6,2 | 6,4 | | |
| Väriiluku mg Pt/l | | 15 | 40 | 50 | 50 | 100 | 160 | 120 | 50 | 50 | 50 | 40 | 80 | 60 | 40 | 40 | 40 | | |
| CODMn mg/l | | 5,7 | 5,2 | 7,7 | 9 | 10,5 | 14 | 14 | 11 | 7 | 11 | 9 | 11 | 10,9 | 10 | 9,9 | 9 | | |
| Kok-N µg/l | | 690 | 550 | 560 | 810 | 1500 | 1700 | 1700 | 890 | 570 | 1200 | 970 | 950 | 720 | 660 | 490 | 480 | | |
| NO ₂₊₃ -N µg/l | | | | | | | | 5 | 190 | 64 | 5 | 3 | 3 | 8 | 7 | 31 | 69 | | |
| NH ₄ -N µg/l | | | | | | | | 32 | 340 | 130 | 8 | 9 | 5 | 6 | 3 | 98 | 71 | | |
| Kok-P µg/l | | 17 | 14 | 41 | 30 | 61 | 72 | 64 | 13 | 21 | 54 | 52 | 43 | 29 | 20 | 9 | 9 | | |
| PO ₄ -P µg/l | | | | | | | | 5 | | | | | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | | |
| Syvyys m | | | | | | | | 0-2 | | | 0-2 | | 0-2 | | | | | | |
| Klorofylli-a µg/l | | | | | | | | 57 | | | 50 | | 26 | | | | | | |
| Syvyys m | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,7 | 2,7 | 2,8 | 2,9 | 2,7 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | | |
| Lämpötila °C | | 10 | 15,8 | 4,2 | | | | 3,5 | 3,5 | 11,3 | 14,5 | 5,3 | 20,4 | 15,4 | 9,7 | 2,2 | 1,6 | | |
| O ₂ kyl.% | | 92 | 95 | 93 | | | | 0 | 94 | 96 | 96 | 88 | 92 | 92 | 93 | 60 | 63 | | |
| O ₂ mg/l | | 10,3 | 9,4 | 12,2 | | 10,2 | | 0 | 10,3 | 9,8 | 11,2 | 8,3 | 8,3 | 9,2 | 10,5 | 8,2 | 8,8 | | |
| Sameus FNU | | | | | | | | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 8,4 | 6 | 10 | | | | | | |
| Sähk.j.kyky mS/m | | 2,1 | 2,1 | 2,2 | | | | 4,5 | 4,5 | 1,9 | 1,8 | 1,9 | 1,7 | | | | | | |
| Alk. mmol/l | | 0,09 | 0,09 | 0,101 | | | | 0,404 | 0,404 | 0,088 | 0,054 | 0,043 | 0,06 | | | | | | |
| pH | | 6,5 | 6,8 | 6,7 | | | | 6,3 | 6,3 | 6,9 | 6,8 | 6,3 | 6,5 | | | | | | |
| Väriiluku mg Pt/l | | 40 | 50 | 60 | | | | 100 | 100 | 50 | 50 | 50 | 80 | | | | | | |
| CODMn mg/l | | 5 | 7,7 | 8,5 | | | | 11 | 11 | 7 | 10 | 9,4 | 12 | | | | | | |
| Kok-N µg/l | | 510 | 860 | 800 | | | | 1300 | 1300 | 640 | 1200 | 990 | 940 | | | 530 | 530 | | |
| NO ₂₊₃ -N µg/l | | | | | | | | 72 | 72 | 59 | 3 | 12 | 3 | | | 39 | 160 | | |
| NH ₄ -N µg/l | | | | | | | | 780 | 780 | 120 | 3 | 4 | 7 | | | 130 | 46 | | |
| Kok-P µg/l | | 14 | 39 | 35 | | | | 24 | 24 | 34 | 58 | 53 | 44 | 32 | 22 | 11 | 10 | | |
| PO ₄ -P µg/l | | | | | | | | | | | | | 5 | 3 | 1 | 1 | 2 | | |

Liite 6. Siikalammen valuma-alueen haja-asutuksen kuormituksen määrittäminen.

Haja-asutuksen kuormituksen laskentaperusteena Siikalammen valuma-alueella käytetyt ominaiskuormitusluvut (¹⁾ Rontu & Santala 1995; ²⁾ Viitasaari 1990).

| Asuntotyyppi, varustetaso | Fosforikuormitus | Typpikuormitus |
|---|------------------|----------------|
| ¹⁾ Pysyvä asutus (kg/as/a) | | |
| Korkeatasoiset asunnot, käymäläjätteen erilliskäsittely | 0,25 | 1 |
| ²⁾ Loma-asutus (kg/loma-asunto/a) | | |
| Viemäriverkoston ulkopuolella | 0,18 | 0,66 |

Ominaiskuormituslukuina nurmiviljelyn aiheuttamalle vesistökuormitukselle käytetyt lukuarvot Siikalammella (Viikinkoski & Hynninen 1995; Halonen & Heikkinen 1997).

| Fosforikuormitus (kg/ha/a) | Typpikuormitus (kg/ha/a) |
|----------------------------|--------------------------|
| 0,6 | 15 |

Ominaiskuormitusluvut metsätalouden aiheuttamalle vesistökuormitukselle Siikalammella (10 vuoden keskiarvot Ahtiaisen & Huttusen 1990 mukaan laskettuna).

| Käsittelytapa | Kok-P (kg/ha/a) | Kok-N (kg/ha/a) |
|---|--------------------|--------------------|
| Hakkuu kivennäismaalla, suojavaöhyke | 0,018 | 0,53 |
| Hakkuu kivennäismaalla, ojat johdettu suoraan vesistöön | 0,17 | 3,26 |

Fosfori- ja typpilaskeuman (kg/km²/a) vuosilaskeumien keskiarvot Jaurakkajärven ja Kurvisen havaintoasemilla vuosina 1990-1997 (Järvinen & Vänni 1992a; 1992b; 1994; 1994b; 1996; 1997; 1998; Vuorenmaa ym. 1998).

| Havaintoasema | Kok-P (kg/km ² /a) | Kok-N (kg/km ² /a) |
|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| Jaurakkajärvi 1990-1997 | 10,63 | 468,75 |
| Kurvinen 1990-1997 | 5,88 | 363,75 |
| | | |
| Vuosien 1990-1997 keskiarvo | 8,25 | 416,25 |

Liite 7. Siikalammen tulouoman ja lähtöuoman vedenlaatutuloksia vuonna 2001.

Siikalammen tulouoman (Välöja) ja lähtöuoman (Salmioja) vedenlaatutulosten keskiarvot (x), minimi (min), maksimi (max) ja havaintojen lukumäärät (n) 0,3 m syvyyksiltä touko-lokakuussa 2001 Ympäristöhallinnon vedenlaaturekisterin mukaan.

| Syvyys: 0,3 m Määrittely | Välöja | | | | Salmioja (Siikasalmi) | | | |
|---------------------------------------|--------|------|------|---|-----------------------|------|------|---|
| | x | min | max | n | x | min | max | n |
| O ₂ mg/l | 10,6 | 10 | 11,3 | 6 | 10,3 | 8,9 | 12 | 6 |
| O ₂ kyll.% | 94,3 | 92 | 107 | 6 | 93,5 | 83 | 101 | 6 |
| Sameus FTU | 0,69 | 0,37 | 1,2 | 6 | 1,39 | 0,92 | 2,6 | 6 |
| γ ₂₅ mS/m | 5,1 | 4,8 | 5,2 | 6 | 5,1 | 5,0 | 5,2 | 6 |
| Alk. mmol/l | 0,41 | 0,38 | 0,42 | 6 | 0,40 | 0,37 | 0,40 | 6 |
| pH | 7,0 | 7,0 | 7,4 | 6 | 7,4 | 7,2 | 7,7 | 6 |
| Väri Ptmg/l | 8,3 | 5 | 15 | 6 | 18,3 | 10 | 35 | 6 |
| COD _{Mn} mg/l O ₂ | 0,9 | 0,0 | 2,0 | 6 | 2,8 | 2,0 | 3,9 | 6 |
| Kok-N µg/l | 105,7 | 78 | 180 | 6 | 208,3 | 170 | 320 | 6 |
| NO ₂₊₃ µg/l | 2,7 | 0 | 16 | 6 | 1 | 0 | 6 | 6 |
| NH ₄ µg/l | 2,2 | 0 | 5 | 6 | 3,7 | 0 | 7 | 6 |
| Kok-P µg/l | 8 | 5 | 10 | 6 | 12,3 | 9 | 18 | 6 |
| PO ₄ µg/l | 3,8 | 3 | 6 | 6 | 3,3 | 2 | 5 | 6 |
| Fe µg/l | 43,5 | 38 | 56 | 6 | 291,7 | 130 | 850 | 6 |

Liite 8. Siikalammen syvänteen vedenlaatutulokset vuosina 1998-2001.

Siikalammen keskisyvänteen (Siikalampi, syvänteen) vedenlaatutulosten keskiarvot (x), minimi (min), maksimi (max) ja havaintojen lukumäärät (n) 1 m:n ja 7-9,3 m:n syvyyksiltä vuosina 1998-2001 avovesikaudella ja vuosina 1987-2001 talvella Ympäristöhallinnon vedenlaaturekisterin mukaan.

| <i>Siikalampi, syvänteen</i> | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------|---------------------|------------|------------|----------|--------------|------------|------------|----------|
| <i>Määrittely</i> | <i>Syvyys</i> | <i>avovesikausi</i> | | | | <i>talvi</i> | | | |
| | <i>m</i> | <i>x</i> | <i>min</i> | <i>max</i> | <i>n</i> | <i>x</i> | <i>min</i> | <i>max</i> | <i>n</i> |
| O ₂ mg/l | 1 | 10,1 | 9,1 | 12,1 | 11 | 9,4 | 9,4 | 10,9 | 3 |
| | 7-9,3 | 5,3 | 0 | 11,5 | 14 | 0,5 | 0 | 1,1 | 3 |
| O ₂ kyll.% | 1 | 94,7 | 83 | 103 | 11 | 64,3 | 64 | 70 | 3 |
| | 7-9,3 | 43,6 | 0 | 86 | 14 | 3,3 | 0 | 8 | 3 |
| Sameus FNU | 1 | 1,26 | 0,57 | 2,1 | 12 | 0,52 | 0,34 | 0,7 | 3 |
| | 7-9,3 | 7,92 | 1,2 | 19,8 | 14 | 8,1 | 4,5 | 11 | 3 |
| γ ₂₅ mS/m | 1 | 5 | 4,7 | 5,2 | 12 | 5,3 | 5,2 | 5,4 | 3 |
| | 7-9,3 | 5,4 | 4,8 | 6,9 | 14 | 9 | 8,2 | 9,5 | 3 |
| Alk. mmol/l | 1 | 0,38 | 0,35 | 0,40 | 12 | 0,42 | 0,39 | 0,46 | 3 |
| | 7-9,3 | 0,42 | 0,35 | 0,56 | 14 | 0,68 | 0,58 | 0,76 | 3 |
| pH | 1 | 7,28 | 6,4 | 7,9 | 12 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 3 |
| | 7-9,3 | 6,79 | 6,5 | 7,4 | 14 | 6,43 | 6,4 | 6,5 | 3 |
| Väri Ptmg/l | 1 | 22,9 | 10 | 40 | 12 | 10 | 5 | 15 | 3 |
| | 7-9,3 | 90,7 | 10 | 280 | 14 | 80 | 40 | 100 | 3 |
| COD _{Mn} mg/l O ₂ | 1 | 3,1 | 1,7 | 5 | 12 | 0,8 | 0,1 | 1,8 | 3 |
| | 7-9,3 | 4 | 2 | 6,5 | 14 | 1,8 | 1,1 | 2,9 | 3 |
| Kok-N µg/l | 1 | 218 | 150 | 280 | 12 | 273 | 120 | 570 | 3 |
| | 7-9,3 | 319 | 150 | 770 | 14 | 550 | 450 | 630 | 3 |
| NO ₂₊₃ µg/l | 1 | 1,6 | 0 | 17 | 12 | 54,5 | 48 | 62 | 2 |
| | 7-9,3 | 13,6 | 0 | 95 | 14 | 201 | 93 | 350 | 3 |
| NH ₄ µg/l | 1 | 4,9 | 0 | 10 | 12 | 9 | 3 | 15 | 2 |
| | 7-9,3 | 90,6 | 3 | 470 | 14 | 237 | 140 | 390 | 3 |
| Kok-P µg/l | 1 | 14 | 8 | 25 | 12 | 8 | 5 | 12 | 3 |
| | 7-9,3 | 27,5 | 10 | 45 | 14 | 13,3 | 13 | 14 | 3 |
| PO ₄ µg/l | 1 | 6,7 | 0 | 16 | 12 | 5 | 3 | 7 | 2 |
| | 7-9,3 | 9,1 | 0 | 22 | 14 | 5 | 3 | 8 | 3 |
| Fe µg/l | 1 | 239,2 | 120 | 290 | 12 | 68 | 45 | 94 | 3 |
| | 7-9,3 | 3011 | 170 | 9600 | 13 | 2500 | 1900 | 3000 | 3 |
| Klorofylli-a µg/l | 0-2 | 8,2 | 3,6 | 12,1 | 10 | | | | |
| Näkösyvyys m | 7-9,3 | 2,95 | 2,1 | 4,7 | 10 | | | | |

Liite 9. Siikalammen veden lämpötilan ja happipitoisuuden havainnot vuosina 1987 ja 1998-2001.

Veden lämpötilan (°C), happipitoisuuden (O₂, mg/l) ja hapen kyllästysasteen (O₂, kyll.%) keskiarvot (*x*), minimi (*min*), maksimi (*max*) ja havaintojen lukumäärä (*n*) Siikalammen keskisyvänteellä (Siikalampi, syväanne) vuosien 1987 ja 1998-2001 A) maaliskuu-huhtikuu ja B) heinä-elokuun tuloksista Ympäristöhallinnon vedenlaaturekisterin mukaan.

A) maaliskuu-huhtikuu

| | <i>Syv. m</i> | <i>x</i> | <i>min</i> | <i>max</i> | <i>n</i> |
|-------------------------|---------------|----------|------------|------------|----------|
| t°C | 1 | 0,3 | 0,2 | 0,4 | 3 |
| | 3-5 | 3,2 | 2,6 | 3,7 | 4 |
| | 7-8 | 4,1 | 3,8 | 4,3 | 3 |
| O ₂ , mg/l | 1 | 9,4 | 8,6 | 10,1 | 3 |
| | 3-5 | 4,8 | 1,9 | 8,2 | 4 |
| | 7-8 | 0,5 | 0 | 1,1 | 3 |
| O ₂ , kyll.% | 1 | 64,3 | 59 | 70 | 3 |
| | 3-5 | 36 | 15 | 60 | 4 |
| | 7-8 | 3,3 | 0 | 8 | 3 |

B) heinä-elokuu

| | <i>Syv. m</i> | <i>x</i> | <i>min</i> | <i>max</i> | <i>n</i> |
|-------------------------|---------------|----------|------------|------------|----------|
| t°C | 1 | 17 | 14,6 | 19,7 | 6 |
| | 3-5 | 14,6 | 13,8 | 15,6 | 6 |
| | 6-9 | 10,8 | 8,3 | 13 | 7 |
| O ₂ , mg/l | 1 | 9,6 | 9,1 | 10 | 6 |
| | 3-5 | 8,1 | 5,3 | 9,9 | 6 |
| | 6-9 | 1,1 | 0 | 5,8 | 7 |
| O ₂ , kyll.% | 1 | 98,5 | 92 | 103 | 6 |
| | 3-5 | 80 | 51 | 99 | 6 |
| | 6-9 | 10,4 | 0 | 54 | 7 |

Liite 10. Siikalammessa esiintyvät makrofytyt kesällä 2001 tehtyjen kartoitusten mukaan.

Siikalammella esiintyvät makrofytyt kasvumuodoittain sekä niiden vaatelaisuustasot tai kasvupaikan ravinteisuustasot (osa vesisammalista). i= indifferentti, o= oligotrofinen, m= mesotrofinen ja e= eutrofinen (vaatelaisuustaso Tyystjärvi-Muuronen 1985, osalla vesisammalista Eurola ym. 1992; Toivonen 1984. Kasvupaikan ravinteisuustaso Koponen ym. 1995. Lajinimet Hämet-Ahti ym. 1986; Koponen ym. 1995 ja Virtanen 2001).

| Latinalainen nimi | Suomalainen nimi | Vaatelaisuustaso/ *kasvupaikan ravinteisuustaso |
|---|------------------------------------|--|
| <u>Keratofyllidit</u> | <u>Irtokeijujat</u> | |
| <i>Utricularia vulgaris</i> | isovesiherne | i |
| <u>Bryidit</u> | <u>Vesisammalet</u> | |
| <i>Calliergon megalophyllum</i> | järvikuirisammal | m-e |
| <i>Drepanogladus capillifolius</i> | hiussirppisammal | *rehevä |
| <i>Drepanogladus sordidus</i> | upposirppisammal | m-e |
| <i>Fontinalis antipyretica</i> | isonäkinsammal | m |
| <i>Scorpidium scorpioides</i> | lettolierosammal | *karu – rehevä |
| <i>Warnstorfia exannulata</i> | hetesirppisammal | m |
| <i>Warnstorfia procera</i> | aapasirppisammal | i |
| <i>Warnstorfia trichophylla</i> | lampisirppisammal | *karu – rehevä |
| <u>Eloeidit</u> | <u>Upsolehtiset</u> | |
| <i>Elodea canadensis</i> | vesirutto | e |
| <i>Myriophyllum alterniflorum</i> | ruskoärviä | o-m |
| <i>Potamogeton perfoliatus</i> | ahvenvita | i |
| <i>Potamogeton gramineus</i> | heinävita | m |
| <i>Potamogeton filiformis</i> | merivita | m-e |
| <i>Ranunculus peltatus</i> | järvisätkin | o |
| <u>Isoetidit</u> | <u>Pohjaversoiset</u> | |
| <i>Isoetes lacustris</i> | tummalahnaruoho | o |
| <i>Isoetes sp.</i> | lahnaruoho | o |
| <i>Lobelia dortmanna</i> | nuottaruoho | o |
| <i>Ranunculus reptans</i> | rantaleinikki | o-m |
| <u>Nymfeidit</u> | <u>Kelluslehtiset</u> | |
| <i>Nymphaea candida</i> | pohjanlumme | i |
| <i>Nuphar lutea</i> | ulpukka | i |
| <i>Nuphar pumila</i> | konnanulpukka | o-m |
| <i>Sagittaria natans</i> | kelluskeiholehti | m-e |
| <i>Sagittaria natans x sagittifolia</i> | kelluskeiholehti x pystykeiholehti | m-e |
| <i>Sparganium angustifolium</i> | kaitapalpakko | o |
| <u>Helofyytit</u> | <u>Ilmaversoiset</u> | |
| <i>Hippuris vulgaris</i> | vesikuusi | i |
| <i>Lysimachia thyrsiflora</i> | terttualpi | i |
| <i>Phragmites australis</i> | järviruoko | i |
| <i>Potentilla palustris</i> | kurjenjalka | i |
| <i>Schoenoplectus lacustris</i> | Järvikaisla | i |
| <i>Carex sp.</i> | Sara | - |
| <i>Equisetum fluvitiale</i> | Järvikorte | i |
| <i>Eleocharis palustris</i> | Rantaluikka | o-m |

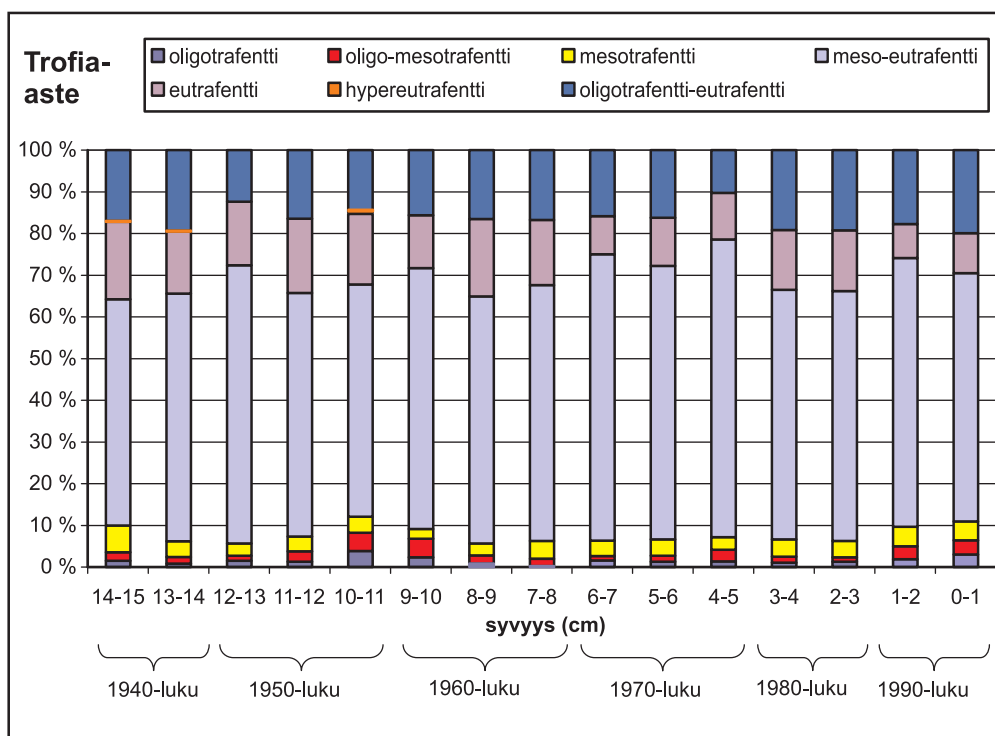
Liite 11.Siikalammen sedimentistä määritetyt piilevätaksonit.

1. Achnanthes curtissima Carter
2. Achnanthes didyma Hustedt
3. Achnanthes exigua Grunow in Cl. & Grun.var. exigua
4. Achnanthes grishuna Wuthrich
5. Achnanthes holsatica Hustedt in Schmidt et
6. ACHNANTHES J.B.M. Bory de St. Vincent
7. Achnanthes joursacense Héribaude
8. Achnanthes lanceolata(Breb.)Grunow var. lanceolata Grunow
9. Achnanthes laterostrata Hustedt
10. Achnanthes levanderi Hustedt
11. Achnanthes linearis (W.Sm.) Grunow
12. Achnanthes marginulata Grunow in Cleve & Grun.
13. Achnanthes minutissima Kutzing v.minutissima Kutzing (Achnanthidium)
14. Achnanthes peragalli Brun & Héribaude in Héribaude
15. Achnanthes petersenii Hustedt
16. Achnanthes pusilla (Grunow)De Toni
17. Achnanthes subatomoides (Hustedt) Lange-Bertalot et Archibald
18. Achnanthes suchlandtii Hustedt
19. Amphora ovalis (Kutzing) Kutzing
20. Amphora pediculus (Kutzing) Grunow
21. Amphora veneta Kutzing
22. Anomoeoneis vitrea (Grunow) Ross
23. Asterionella formosa Hassall
24. AULACOSEIRA G.H.K. Thwaites
25. Aulacoseira ambigua (Grun.) Simonsen
26. Aulacoseira distans (Ehr.)Simonsen
27. Aulacoseira italica (Ehr.)Simonsen
28. Aulacoseira pfaffiana (Reinsch) Krammer
29. CALONEIS
30. Caloneis bacillum (Grunow) Cleve
31. Caloneis schumanniana (Grunow) Cleve
32. Caloneis silicula (Ehr.)Cleve
33. Cocconeis neothumensis Krammer
34. Cocconeis placentula Ehrenberg var. placentula
35. COSCINODISCUS C.G. Ehrenberg
36. Cyclostephanos dubius (Fricke) Round
37. CYCLOTELLA F.T. Kützing ex A de Brébisson
38. Cyclotella comta (Ehr.)Kutzing
39. Cyclotella meneghiniana Kutzing
40. Cyclotella rossii Hakansson
41. Cyclotella stelligera Cleve et Grun (in Van Heurck)
42. Cymatopleura solea (Brebisson) W.Smith var. solea
43. CYMBELLA C.Agardh 1830
44. Cymbella affinis Kutzing
45. Cymbella affinis Kutzing
46. Cymbella aspera(Ehr.)Cleve
47. Cymbella cistula(Ehrenberg)Kirchner
48. Cymbella cymbiformis Agardh var. nonpunctata Fontell
49. Cymbella cymbiformis Agardh var.nonpunctat
50. Cymbella gracilis(Ehr.)Kutzing
51. Cymbella minuta Hilse ex Rabenhorst (Encyonema)
52. Cymbella naviculiformis Auerswald
53. Cymbella silesiaca Bleisch in Rabenhorst (Encyonema)
54. Cymbella sinuata Gregory
55. Cymbella tumida (Brebisson)Van Heurck
56. DENTICULA F.T. Kützing
57. Diatoma mesodon (Ehrenberg) Kutzing
58. Diatoma tenuis Agardh

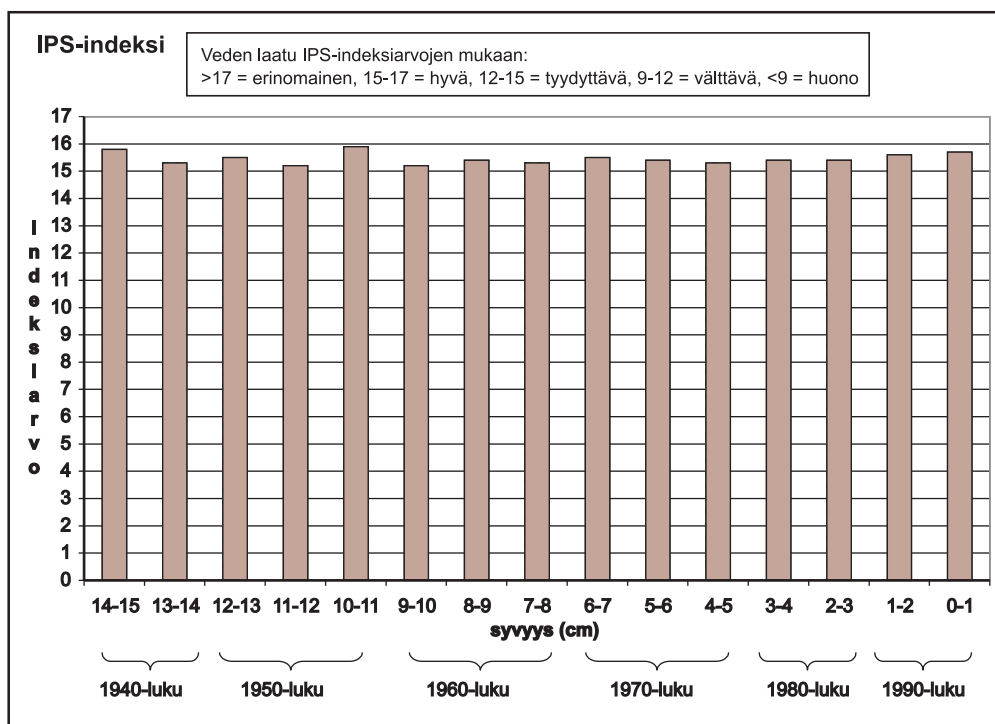
59. DIPLOMENORA K. Blazé
60. Diploneis elliptica (Kutzing) Cleve
61. Diploneis oblongella (Naegeli) Cleve-Euler
62. EPITHEMIA F.T. Kützing
63. Epithemia adnata (Kutzing) Brebisson
64. Epithemia sorex Kutzing
65. Epithemia turgida (Ehr.) Kutzing var.turgida
66. Eunotia bilunaris (Ehr.) Mills var. bilunaris
67. Eunotia flexuosa(Brebisson)Kutzing
68. Eunotia formica Ehrenberg
69. Eunotia incisa Gregory var.incisa
70. Eunotia pectinalis (Dyllwyn) Rabenhorst var. pectinalis
71. Eunotia praerupta Ehrenberg var. praerupta
72. Eunotia praerupta Ehrenberg var.inflata Grunow
73. FRAGILARIA H.C. Lyngbye
74. Fragilaria bicapitata A.Mayer
75. Fragilaria capucina Desmazieres var.capucina
76. Fragilaria capucina Desmazieres var.gracilis (Oestrup) Hustedt
77. Fragilaria capucina Desmazieres var.mesolepta (Rabenhorst) Rabenhorst
78. Fragilaria capucina Desmazieres var.vaucheriae (Kutzing) Lange-Bertalot
79. Fragilaria construens (Ehr.) Grunow f.construensis (Staurosira)
80. Fragilaria exigua Grunow
81. Fragilaria nanana Lange-Bertalot
82. Fragilaria oldenburgiana Hustedt
83. Fragilaria parasitica (W.Sm.) Grun. var. prasitica
84. Fragilaria pinnata Ehrenberg var. pinnata (Staurosirella)
85. Fragilaria tenera (W.Smith) Lange-Bertalot
86. Fragilaria ulna (Nitzsch.) Lange-Bertalot var. acus (Kutz.) Lange-Bertalot
87. Fragilaria ulna(Nitzsch.)Lange-Bertalot var. ulna
88. Fragilaria virescens Ralfs
89. GOMPHONEMA C.G. Ehrenberg
90. Gomphonema acuminatum Ehrenberg
91. Gomphonema acuminatum Ehrenberg var.coronata (Ehr.) W. Smith
92. Gomphonema angustatum (Kutzing) Rabenhorst
93. Gomphonema angustum Agardh
94. Gomphonema olivaceum (Hornemann) Brébisson var. olivaceum
95. Gomphonema parvulum Kutzing var. parvulum f. parvulum
96. Gomphonema parvulum Kutzing var.exilis Grunow
97. Gomphonema parvulum Kutzing var.exilissimum Grunow
98. Gomphonema truncatum Ehr.
99. Gyrosigma acuminatum (Kutzing)Rabenhorst
100. Hantzschia amphioxys (Ehr.) Grunow in Cleve et Grunow 1880
101. Melosira lirata (Ehr.)O.Muller var.perglabra (Ostrup) Florin
102. Melosira varians Agardh
103. Meridion circulare (Greville) C.A.Agardh var. circulare
104. NAVICULA J.B.M. Bory de St. Vincent
105. Navicula amphibola Cleve
106. Navicula arvensis Hustedt
107. Navicula cocconeiformis Gregory ex Grevill
108. Navicula cryptocephala Kutzing
109. Navicula elginensis (Gregory) Ralfs in Pritchard
110. Navicula jaernefeltii Hustedt
111. Navicula minima Grunow
112. Navicula porifera Hustedt
113. Navicula pseudoscutiformis Hustedt
114. Navicula pupula Kutzing
115. Navicula radiosa Kützing
116. Navicula schadei Krasske 1929
117. Navicula seminulum Grunow
118. Navicula submuralis Hustedt

119. *Navicula subtilissima* Cleve
120. *Navicula trivialis* Lange-Bertalot var. *trivialis*
121. *Navicula ventralis* Krasske
122. *Navicula viridula* (Kutzing) Ehrenberg
123. *Navicula vulpina* Kutzing
124. NEIDIUM E. Pfitzer
125. *Neidium affine*(Ehrenberg)Pfitzer
126. *Neidium ampliatus* (Ehrenberg) Krammer
127. *Neidium dubium*(Ehrenberg)Cleve
128. *Neidium hitchcockii* (Ehr.) Cleve
129. *Neidium iridis* (Ehrenberg) Cleve
130. NITZSCHIA A.H. Hassall
131. *Nitzschia amphibia* Grunow f.amphibia
132. *Nitzschia dissipata*(Kutzing)Grunow var.dissipata
133. *Nitzschia dubia* W.M.Smith
134. *Nitzschia fonticola* Grunow in Cleve et Möller
135. *Nitzschia frustulum*(Kutzing)Grunow var.frustulum
136. *Nitzschia linearis*(Agardh) W.M.Smith var.linearis
137. *Nitzschia linearis*(Agardh) W.M.Smith var.subtilis (Grunow) Hustedt
138. *Nitzschia palea* (Kutzing) W.Smith
139. *Nitzschia perminuta*(Grunow) M.Peragallo
140. *Nitzschia recta* Hantzsch ex Rabenhorst
141. *Nitzschia sublinearis* Hustedt
142. PINNULARIA C.G. Ehrenberg
143. *Pinnularia borealis* Ehrenberg var. *borealis*
144. *Pinnularia gibba* Ehrenberg
145. *Pinnularia interrupta* W.M.Smith
146. *Pinnularia microstauron* (Ehr.) Cleve
147. *Pinnularia nodosa* (Ehrenberg) W.Smith
148. *Pinnularia rupestris* Hantzsch in Rabenhorst 1861
149. *Pinnularia subcapitata* Gregory var. *subcapitata*
150. *Pinnularia sudetica* (Hilse) Hilse in Rabh.
151. *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg
152. *Rhopalodia gibba* (Ehr.) O.Muller var.gibba
153. STAURONEIS C.G. Ehrenberg
154. *Stauroneis anceps* Ehrenberg
155. *Stauroneis phoenicenteron* (Nitzsch.) Ehrenberg
156. *Stauroneis smithii* Grunow
157. STENOPTEROBIA A. de Brébisson ex H. Van Heurck
158. *Stenopterobia curvula* (W.Smith) Krammer
159. *Surirella biseriata* Brébisson in Brébisson & Godey
160. *Surirella elegans* Ehrenberg
161. SURIRELLA P. J.F. Turpin
162. *Surirella splendida* (Ehr.) Kutz.
163. *Tabellaria flocculosa*(Roth)Kutzing
164. *Tetracyclus glans* (Ehrenb.) Mills
165. *Tetracyclus lacustris* Ralfs

Liite 12. Siikalammen piilevälajiston trofia-asteet sekä IPS-indeksit.



Piilevälajiston jakautuminen trofia-asteisiin (Van Dam ym. 1994).



Sedimenttiprofiilin piilevälajistosta lasketut IPS-indeksi-arvot (Coste 1982).